BnF Gallica

Revue générale de l'électricité : organe de l'Union des syndicats de l'électricité / directeur J. Blondin ; rédacteur en [...]

{BnF Gallica

Union technique de l'électricité (France). Auteur du texte. Revue générale de l'électricité : organe de l'Union des syndicats de l'électricité / directeur J. Blondin ; rédacteur en chef Alfred Soulier. 1930-10-04.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :
- La réutilisation non commerciale de ces contenus ou dans le cadre d'une publication académique ou scientifique est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source des contenus telle que précisée ci-après : « Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France » ou « Source gallica.bnf.fr / BnF ».
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service ou toute autre réutilisation des contenus générant directement des revenus : publication vendue (à l'exception des ouvrages académiques ou scientifiques), une exposition, une production audiovisuelle, un service ou un produit payant, un support à vocation promotionnelle etc.

CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

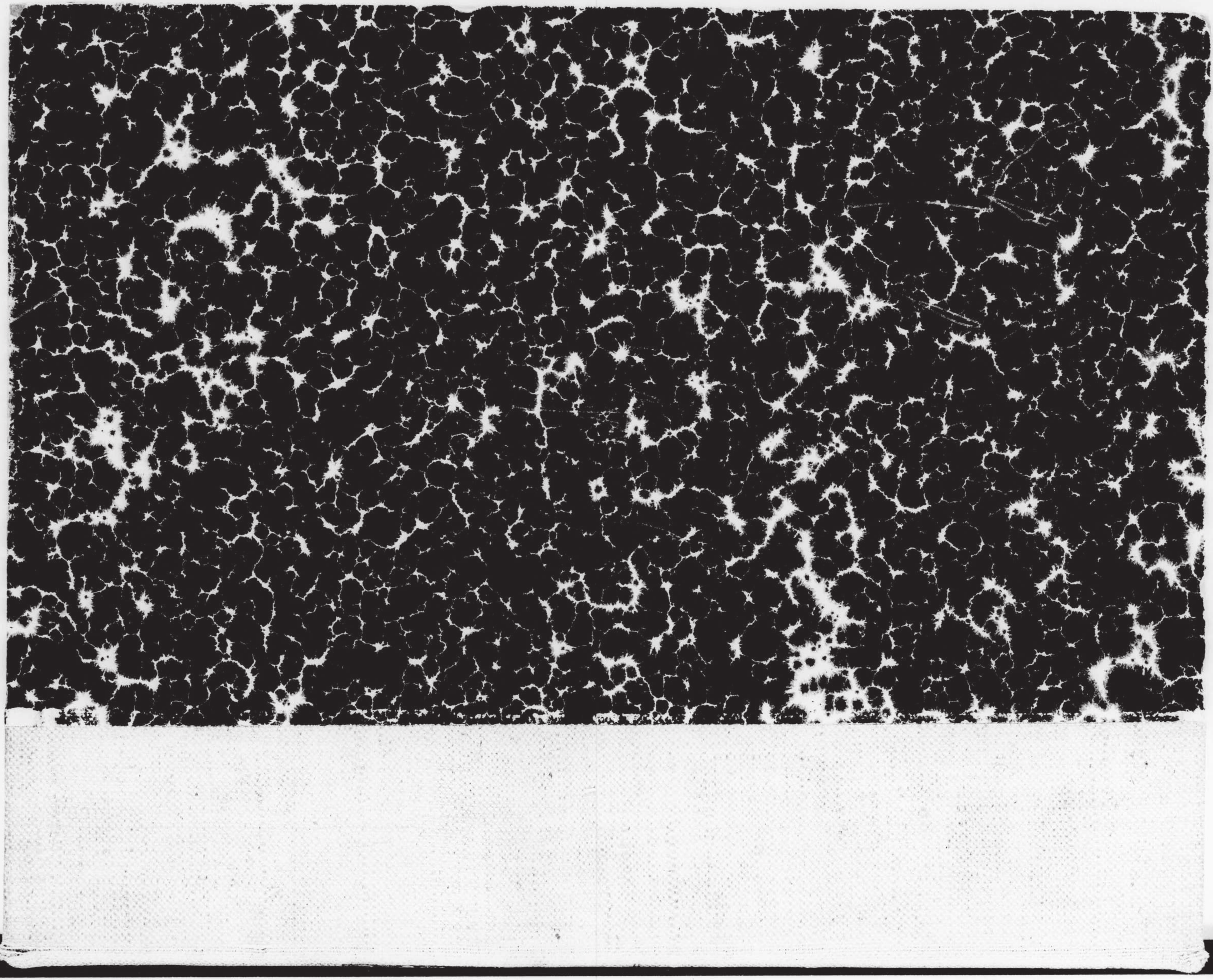
- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

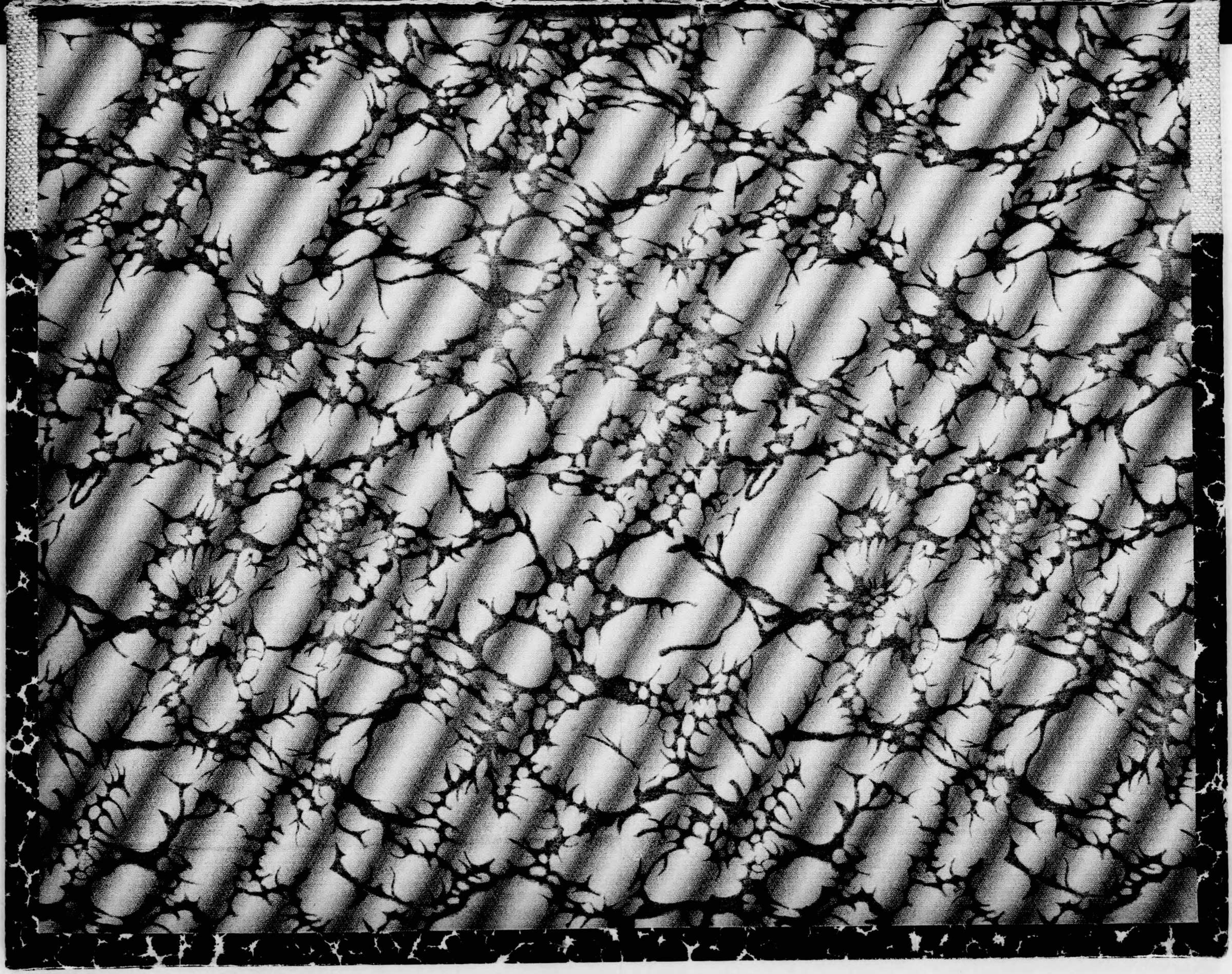
4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

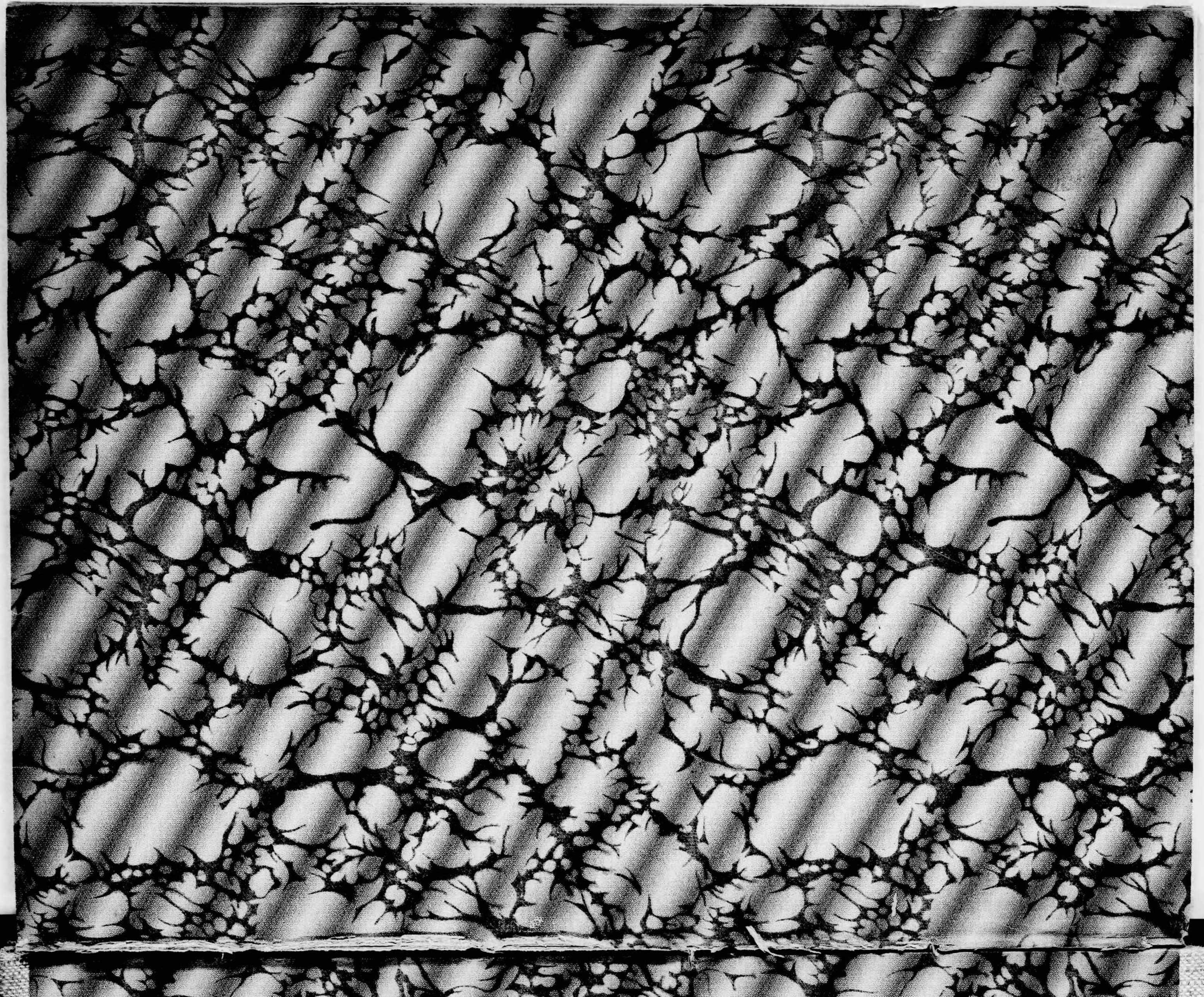
5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter
utilisation.commerciale@ bnf.fr.







14e Année. Tome XXVIII. — N° 14. 4 Octobre 1930.

R 11-8-31

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

21772

ORGANE DE L'UNION DES SYNDICATS DE L'ÉLECTRICITÉ
ET DU COMITÉ ÉLECTROTECHNIQUE FRANÇAIS

SOMMAIRE

CHRONIQUE. — Le Musée de l'Electricité de Bruxelles, p. 513. — Bibliographie : Laboratoires d'essais mécaniques en Allemagne et en Suisse (tendance actuelle de la construction des turbomachines), par A. TENOT, p. 514 ; Propriétés générales des machines, par L. LECORNU, p. 514 ; Leçons sur la résistance des fluides non visqueux, par Paul PAINLEVÉ, p. 514.

SECTION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE. — Abaque pour le calcul des fonctions circulaires et hyperboliques de variables complexes, par Lucien ABÉLÈS, p. 515. — Revues, analyses et informations : La tension mécanique maximum admissible pour les câbles d'aluminium-acier, p. 526 ; Propriétés physiques des tubes d'acier soudés électriquement, p. 528 ; La susceptibilité magnétique du rubidium, p. 528.

SECTION INDUSTRIELLE. — Quelques remarques sur la concurrence entre l'énergie thermique et l'énergie hydraulique et sur la fourniture de l'énergie de pointe, par J. HAK, p. 529. — Revues, analyses et informations : Le rôle de l'huile isolante dans la rupture de l'arc, p. 542 ; La coordination de l'isolation des diverses parties d'un système de distribution d'énergie électrique, p. 544 ; Compensateurs synchrones de 25 000 kilovolts-ampères à axe vertical pour fonctionnement à l'extérieur, p. 544.

SECTION ECONOMIQUE ET FINANCIÈRE. — Assemblées générales : Energie électrique du Littoral méditerranéen, p. 545.

SECTION DE LÉGISLATION. — Le renouvellement du matériel dans une concession de distribution d'énergie. Une annuité par exercice est une charge de l'entreprise, par Paul BOUGAULT, p. 547. — Législation, jurisprudence, réglementation : Décret portant règlement des installations électriques dans les mines de combustibles, p. 549 ; Sur l'application de la législation sur les assurances sociales aux pensionnés au titre militaire, p. 552.

BULLETIN R. G. E. — Nouvelles et échos. — Sociétés industrielles. — Ouvrages récents. — Brevets récents. — Réunions, conférences, etc. — Extrait de la série des prix. — Index économique, p. 105 B-112 B.

DOCUMENTATION ..... p. 113 D-120 D

PETITES ANNONCES ..... p. LXXV-LXXVII

RÉDACTION & ADMINISTRATION : 12, Place de Laborde, PARIS (VIIIe).

Téléph. : Laborde 23-38 — Compte de chèques postaux : Paris 239-86 — Registre du Commerce : Seine N° 181 784

REVUE HEBDOMADAIRE

Prix des Abonnements { **France et Colonies : un an, 100 fr ; six mois, 55 fr.** **Etranger : un an. 10 dollars ou 12 dollars** suivant conditions postales || **Prix du Numéro : 5 fr.**

Lo V 8/80

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES

TÉLÉPHONES

Constructions électriques — Caoutchouc — Câbles

CAPITAL : 54 000 000 DE FRANCS

25, Rue du Quatre-Septembre — PARIS (2e)

FILS ET CABLES

DE TOUS ISOLEMENTS

CAOUTCHOUC — GUTTA-PERCHA — SOIE — COTON — PAPIER, ETC.

POUR LUMIÈRE, TÉLÉPHONIE

TÉLÉGRAPHIE, TRANSPORT DE FORCE

CABLES ARMÉS

POUR CANALISATIONS SOUTERRAINES

A HAUTE ET A BASSE TENSION

MATÉRIEL ACCESSOIRE POUR CANALISATIONS

FILS ÉMAILLÉS

QUALITÉ SUPÉRIEURE

ET TOUS FILS DE BOBINAGE

sous soie, coton, amiante, etc.

PRIX ET ÉCHANTILLONS SUR DEMANDE

R. C. : Seine N° 52 015

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 14. — 4 OCTOBRE 1930.

Chronique. — Le Musée de l'Electricité de Bruxelles, p. 513. — Bibliographie : Laboratoires d'essais mécaniques en Allemagne et en Suisse (tendance actuelle de la construction des turbomachines, par A. TENOT, p. 514; Propriétés générales des machines, par L. LECORNU, p. 514; Leçons sur la résistance des fluides non visqueux, par Paul PAINLEVÉ, p. 514.

Section scientifique et technique. — Abaque pour le calcul des fonctions circulaires et hyperboliques de variables complexes, par Lucien ABÉLÈS, p. 515. — Revues, analyses et informations : La tension mécanique maximum admissible pour les câbles d'aluminium-acier, p. 526; Propriétés physiques des tubes d'acier soudés électriquement, p. 528; La susceptibilité magnétique du rubidium, p. 528.

Section industrielle. — Quelques remarques sur la concurrence entre l'énergie thermique et l'énergie hydraulique et sur la fourniture de l'énergie de pointe, par J. HAK, p. 529. — Revues, analyses et informations : Le rôle de l'huile isolante dans la rupture de l'arc, p. 542; La coordination de l'isolation des diverses parties d'un système de distribution d'énergie électrique, p. 544; Compensateurs synchrones de 25000 kilovolts-ampères à axe vertical pour fonctionnement à l'extérieur, p. 544.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Energie électrique du Littoral méditerranéen, p. 545.

Section de législation. — Le renouvellement du matériel dans une concession de distribution d'énergie. Une annuité par exercice est une charge de l'entreprise, par Paul BOUGAULT, p. 547. — Législation, jurisprudence, réglementation : Décret portant règlement des installations électriques dans les mines de combustibles, p. 549; Sur l'application de la législation sur les assurances sociales aux pensionnés au titre militaire, p. 552.

Le Musée de l'Electricité de Bruxelles. — La semaine dernière, le mardi 23 septembre 1930, a eu lieu l'inauguration par M. van Caeneghem, ministre des Travaux publics de Belgique, du Musée d'Electricité situé dans les salles du Palais du Cinquantenaire.

L'idée de la création de ce musée revient à l'un des pionniers de l'industrie électrique belge, M. Charles Mourlon, actuellement le doyen des ingénieurs constructeurs électriciens belges. Afin de mettre son projet à exécution, M. Mourlon constitua, dès 1924, un Comité d'initiative placé sous le patronage de la Chambre syndicale des Electriciens belges dont il est le vice-président. Quelques mois plus tard, le 4 août 1925, ce comité était avisé par le ministre des Travaux publics que le gouvernement mettait à sa disposition la salle abritant la Section rétrospective des Télégraphes et des Téléphones dans le grand hall de l'aile gauche du Palais du Cinquantenaire. Ayant dès lors la certitude d'avoir un local pour abriter les collections, les membres du comité d'initiative s'occupèrent de rassembler celles-ci, ce en quoi ils furent puissamment aidés par les sociétés de construction.

Ajoutons que, à l'occasion de l'inauguration du Musée de l'Electricité, le Comité d'initiative a édité une élégante et intéressante plaquette de 100 pages, où est donnée la biographie des savants et des ingénieurs belges qui contribuèrent par leurs travaux au développement des applications de l'électricité en Belgique. L'un des chapitres de la brochure est consacré aux précurseurs : Melsens, van der Mensbrugghe, Eric Gérard, etc. ; dans le chapitre suivant sont cités les bienfaiteurs de la science et de l'industrie électriques en Belgique : Ernest Solvay, George Montefiore, baron Edouard Empain, Léon de Somzée, etc. Puis viennent les pionniers de l'électrotechnique belge : Nollet, inventeur de la première machine magnéto-électrique (1849) construite par la Compagnie L'Alliance; Zénobe Gramme dont l'invention (1867) devait avoir une si grande influence sur le développement des applications de l'électricité; van Rysselberghe, l'inventeur du système permettant la transmission simultanée des signaux télégraphiques et des messages téléphoniques, auteur du premier câble téléphonique sous-marin, celui reliant Montevideo et Buenos-Ayres (1882); Jaspar, créateur de la première lampe à arc (1849); Emile Bède à qui l'on doit les premiers réseaux téléphoniques de Bruxelles, Gand, Liége, Charleroi; Henri Pieper, fondateur de la Compagnie internationale d'Electricité; Charles Mourlon, qui, dès 1868, monte à Bruxelles le premier atelier pour la fabrication de la pile Leclanché; Léon Gérard, inventeur et constructeur d'une dynamo pour éclairage (1885), etc. Dans un dernier chapitre sont cités les ingénieurs, constructeurs, inventeurs, ayant par leur situation ou

Li V 8180

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES

TÉLÉPHONES

Constructions électriques — Caoutchouc — Câbles

CAPITAL : 54 000 000 DE FRANCS

25, Rue du Quatre-Septembre — PARIS (2e)

FILS ET CABLES

DE TOUS ISOLEMENTS

CAOUTCHOUC — GUTTA-PERCHA — SOIE — COTON — PAPIER, ETC.

POUR LUMIÈRE, TÉLÉPHONIE

TÉLÉGRAPHIE, TRANSPORT DE FORCE

CABLES ARMÉS

POUR CANALISATIONS SOUTERRAINES

A HAUTE ET A BASSE TENSION

MATÉRIEL ACCESSOIRE POUR CANALISATIONS

FILS ÉMAILLÉS

QUALITÉ SUPÉRIEURE

ET TOUS FILS DE BOBINAGE

sous soie, coton, amiante, etc.

PRIX ET ÉCHANTILLONS SUR DEMANDE

R. C. : Seine N° 52 045

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 14. — 4 OCTOBRE 1930.

Chronique. — Le Musée de l'Electricité de Bruxelles, p. 513. — Bibliographie : Laboratoires d'essais mécaniques en Allemagne et en Suisse (tendance actuelle de la construction des turbomachines, par A. TENOT, p. 514 ; Propriétés générales des machines, par L. LECORNU, p. 514 ; Leçons sur la résistance des fluides non visqueux, par Paul PAINLEVÉ, p. 514.

Section scientifique et technique. — Abaque pour le calcul des fonctions circulaires et hyperboliques de variables complexes, par Lucien ABÉLÈS, p. 515. — Revues, analyses et informations : La tension mécanique maximum admissible pour les câbles d'aluminium-acier, p. 526 ; Propriétés physiques des tubes d'acier soudés électriquement, p. 528 ; La susceptibilité magnétique du rubidium, p. 528.

Section industrielle. — Quelques remarques sur la concurrence entre l'énergie thermique et l'énergie hydraulique et sur la fourniture de l'énergie de pointe, par J. HAK, p. 529. — Revues, analyses et informations : Le rôle de l'huile isolante dans la rupture de l'arc, p. 542 ; La coordination de l'isolation des diverses parties d'un système de distribution d'énergie électrique, p. 544 ; Compensateurs synchrones de 25000 kilovolts-ampères à axe vertical pour fonctionnement à l'extérieur, p. 544.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Energie électrique du Littoral méditerranéen, p. 545.

Section de législation. — Le renouvellement du matériel dans une concession de distribution d'énergie. Une annuité par exercice est une charge de l'entreprise, par Paul BOUGAULT, p. 547. — Législation, jurisprudence, réglementation : Décret portant règlement des installations électriques dans les mines de combustibles, p. 549 ; Sur l'application de la législation sur les assurances sociales aux pensionnés au titre militaire, p. 552.

Le Musée de l'Electricité de Bruxelles. — La semaine dernière, le mardi 23 septembre 1930, a eu lieu l'inauguration par M. van Caeneghem, ministre des Travaux publics de Belgique, du Musée d'Electricité situé dans les salles du Palais du Cinquantenaire.

L'idée de la création de ce musée revient à l'un des pionniers de l'industrie électrique belge, M. Charles Mourlon, actuellement le doyen des ingénieurs constructeurs électriciens belges. Afin de mettre son projet à exécution, M. Mourlon constitua, dès 1924, un Comité d'initiative placé sous le patronage de la Chambre syndicale des Electriciens belges dont il est le vice-président. Quelques mois plus tard, le 4 août 1925, ce comité était avisé par le ministre des Travaux publics que le gouvernement mettait à sa disposition la salle abritant la Section rétrospective des Télégraphes et des Téléphones dans le grand hall de l'aile gauche du Palais du Cinquantenaire. Ayant dès lors la certitude d'avoir un local pour abriter les collections, les membres du comité d'initiative s'occupèrent de rassembler celles-ci, ce en quoi ils furent puissamment aidés par les sociétés de construction.

Ajoutons que, à l'occasion de l'inauguration du Musée de l'Electricité, le Comité d'initiative a édité une élégante et intéressante plaquette de 100 pages, où est donnée la biographie des savants et des ingénieurs belges qui contribuèrent par leurs travaux au développement des applications de l'électricité en Belgique. L'un des chapitres de la brochure est consacré aux précurseurs : Melsens, van der Mensbrugghe, Eric Gérard, etc. ; dans le chapitre suivant sont cités les bienfaiteurs de la science et de l'industrie électriques en Belgique : Ernest Solvay, George Montefiore, baron Edouard Empain, Léon de Somzée, etc. Puis viennent les pionniers de l'électrotechnique belge : Nollet, inventeur de la première machine magnéto-électrique (1849) construite par la Compagnie L'Alliance ; Zénobe Gramme dont l'invention (1867) devait avoir une si grande influence sur le développement des applications de l'électricité ; van Rysselberghe, l'inventeur du système permettant la transmission simultanée des signaux télégraphiques et des messages téléphoniques, auteur du premier câble téléphonique sous-marin, celui reliant Montevideo et Buenos-Ayres (1882) ; Jaspar, créateur de la première lampe à arc (1849) ; Emile Bède à qui l'on doit les premiers réseaux téléphoniques de Bruxelles, Gand, Liége, Charleroi ; Henri Pieper, fondateur de la Compagnie internationale d'Electricité ; Charles Mourlon, qui, dès 1868, monte à Bruxelles le premier atelier pour la fabrication de la pile Leclanché ; Léon Gérard, inventeur et constructeur d'une dynamo pour éclairage (1885), etc. Dans un dernier chapitre sont cités les ingénieurs, constructeurs, inventeurs, ayant par leur situation ou

Li V 8480

par leurs travaux contribué au développement des questions se rapportant aux diverses applications de l'électricité.

Bibliographie : Laboratoires d'essais mécaniques en Allemagne et en Suisse (tendance actuelle de la construction des turbomachines), par A. Tenot, professeur à l'Ecole des Arts et Métiers de Châlons sur-Marne et à l'Ecole spéciale des Travaux publics de Paris (1). — La matière de cet ouvrage a été recueillie au cours de nombreux voyages d'études faits par l'auteur en Allemagne et en Suisse. Celui-ci ayant constaté les efforts des techniciens de ces pays dans le domaine de l'expérimentation, a jugé utile d'en publier le compte rendu exact et impartial. Sans vouloir comparer les techniques de pays si différents du nôtre par leurs conceptions, leurs méthodes de travail ou leurs besoins économiques et sans sous-estimer l'effort français, notamment en ce qui concerne la dynamique des fluides et des turbomachines, il a voulu exposer objectivement des faits d'expérience.

Après avoir décrit les différents laboratoires de l'Ecole polytechnique de Munich, de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich et de l'Ecole polytechnique de Carlsruhe et signalé les particularités intéressantes de leur agencement, l'auteur envisage les laboratoires des entreprises industrielles. Une étude importante est ainsi réservée aux installations d'essais des Ateliers de Construction Voith, à Heidenheim (Wurtemberg), aux Ateliers Escher, Wyss et Cie, à Zurich, et aux Ateliers de Construction Théodore Bell et Cie, à Kriens (Suisse). Cette étude ne se limite pas à des descriptions de laboratoires, mais indique encore les tendances actuelles de la construction des turbines dans ces différentes sociétés et certaines solutions pratiques adoptées par celles-ci. Elle donne d'ailleurs lieu à des remarques générales concernant la mesure du rendement des turbines par exemple.

Mais l'ouvrage n'est pas seulement consacré à l'hydraulique ; c'est ainsi que la construction des turbines à vapeur du type à réaction (Parsons) ou combiné fait l'objet d'un très important chapitre. Ce dernier se rapporte aux Ateliers Brown, Boveri et Cie, à Mannheim, dont sont décrits en détail divers types de turbines ainsi que leurs particularités de construction.

Illustré de très nombreuses figures et présenté sous la forme d'un tableau synoptique dont aucune phrase n'est inutile, le présent ouvrage mérite d'attirer et de retenir l'attention de tous ceux qu'intéresse l'installation des laboratoires de recherches et des stations d'essais. — R. G.

Bibliographie : Propriétés générales des machines, par L. Lecornu (2). — Cet ouvrage fait partie de l'Encyclopédie de Mécanique appliquée, publiée sous la direction de l'auteur et à laquelle il doit servir d'introduction. Rédigée dans une forme didactique claire et concise, la matière en est répartie sur neuf chapitres.

Les premiers chapitres sont consacrés à l'étude de la statique des machines et comportent quelques applications. Après un rappel de la notion de travail et des unités qui s'y rapportent, l'auteur établit la théorie générale du volant ; il envisage ensuite le cas d'un moteur actionnant une hélice et termine cette partie par une étude de la rupture des volants.

Le problème de la régulation fait l'objet d'un chapitre très important ; les notions de sensibilité, régularité, stabilité, puissance étant définies, l'auteur traite de la statique et de la dynamique des principales classes de régulateurs. La régulation indirecte fait également l'objet d'une étude attentive ainsi que tous les problèmes connexes tels que ceux concernant l'accroissement et la compensation, notamment dans le cas des régulateurs spéciaux.

L'auteur traite encore de la question des freins, assez brièvement d'ailleurs, et de celle des efforts intérieurs auxquels sont soumises les diverses parties des machines. Il termine par d'intéressantes études mathématiques sur l'équilibrage, les vibrations et la théorie de la similitude des machines.

S'adressant à la fois à l'étudiant et au jeune ingénieur, cet ouvrage sera encore consulté avec profit par les techniciens désireux de se remémorer les éléments fondamentaux de la mécanique appliquée. — R. G.

Bibliographie : Leçons sur la résistance des fluides non visqueux, par Paul Painlevé (1). — Le présent ouvrage constitue la reproduction des leçons professées à la Sorbonne par M. P. Painlevé et rédigées par M. A. Métral. Consacrées pour une grande part à l'étude rigoureuse du mouvement d'un solide indéformable, dans un liquide parfait, ces leçons cherchent à donner une solution théorique aussi satisfaisante que possible de ce problème, en faisant ressortir avec précision les hypothèses de continuité sur lesquelles repose l'hydrodynamique classique et les paradoxes qu'elles entraînent. Les raisons profondes des contradictions de la théorie et de l'expérience sont ainsi mises en évidence et suscitent les hypothèses les plus naturelles propres à y remédier.

L'ouvrage débute par une étude de l'hydrodynamique théorique et des lois empiriques de la résistance de l'air. Celle-ci comprend l'exposé du principe de la relativité et de son extension et l'examen du cas d'un liquide parfait et celui d'un fluide quelconque.

Le rappel de la loi de Newton ou du sinus carré et de celle d'Euler ou du sinus, conduit à la notion de centre de pression ou de résistance. L'étude de la résistance sur un corps de révolution permet de poser le principe du fuselage, de définir les notions de poussée et de traînée et de montrer l'impossibilité d'une loi élémentaire de la résistance des fluides. Cette première partie de l'ouvrage, se termine par l'exposé du paradoxe de d'Alembert généralisé, lequel donne lieu à la recherche de l'influence des chocs, de la viscosité et des forces intérieures autres que les forces de contact.

La partie faisant suite à ce préambule comporte sept chapitres au cours desquels l'auteur, après un rappel des propriétés fondamentales des fonctions harmoniques et de la cinématique des milieux continus, étudie les formules d'Euler et le mouvement d'un fluide parfait pesant où la densité et la pression sont liées par la même relation $\rho = f(p)$ dans toute la masse fluide et à chaque instant. Les leçons se terminent par des considérations sur l'homogénéité et la similitude. — R. G.

(1) Un volume, format 27 cm × 21 cm, de 70 pages, avec 135 figures dans le texte, édité par la librairie de l'Enseignement technique Léon Eyrolles, 3, rue Thénard, à Paris (5e). Prix : broché, 18 fr.

(2) Un volume format 24 cm × 16 cm, de 232 pages, avec 91 figures dans le texte, édité par la librairie J.-B. Baillière et fils, 10, rue Hautefeuille, à Paris (6e) Prix : broché, 40 fr.

(1) Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 184 pages, avec 32 figures dans le texte, édité par la librairie Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins, à Paris (6e). Prix : broché, 40 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Abaque pour le calcul des fonctions circulaires et hyperboliques de variables complexes

On sait que M. A.-E. Kennelly a publié des tables donnant les valeurs des fonctions hyperboliques des nombres complexes et qu'un certain nombre d'auteurs ont établi, d'après ces tables, des abaques permettant de déterminer les valeurs de ces fonctions dans des applications déterminées, notamment dans la résolution des problèmes de la propagation de l'électricité sur les lignes de transmission; nous rappellerons dans cet ordre d'idées l'abaque de M. R.-S. Brown et ceux de M. Blondel, décrits les uns et les autres dans cette revue (*). Dans l'article qui suit est présenté un nouvel abaque (**) que l'auteur qualifie d'universel, son emploi s'étendant aux applications les plus diverses. Le principe de l'abaque étant exposé, l'auteur donne des indications sur la façon dont il peut être construit; son tracé ne comporte qu'une seule courbe (conique) et diverses échelles rectilignes dont la construction ne nécessite pas l'emploi d'une table de fonctions hyperboliques complexes; ces échelles sont projectives d'échelles fonctionnelles simples. Les données précises sur la construction de l'abaque sont suivies d'exemples d'applications à un certain nombre d'opérations. L'universalité de l'abaque résulte des relations simples entre les fonctions circulaires et les fonctions hyperboliques des nombres complexes. Un dernier paragraphe est consacré à l'approximation que donne la lecture sur l'abaque proposé.

I. **Introduction.** — L'emploi des nombres complexes pour la résolution des problèmes où interviennent des grandeurs sinusoïdales présente un intérêt qui n'a pas échappé aux électriciens. On sait que l'introduction des grandeurs complexes dans l'étude des courants alternatifs permet de ramener les calculs fastidieux auxquels conduisent souvent les méthodes classiques aux expressions très simples obtenues dans le cas des courants continus.

L'une des plus intéressantes simplifications qu'introduit dans les calculs l'emploi des grandeurs complexes est de ramener à des équations algébriques élémentaires des problèmes qui conduiraient autrement à des équations différentielles.

Ce ne sont pas seulement, comme on le croit quelquefois, les calculs de circuits électriques simples qui sont redevables à la méthode des « imaginaires », mais encore le calcul de toutes les machines et appareils qui utilisent les propriétés des courants sinusoïdaux en régime permanent ou transitoire. Nous en avons donné récemment une application à l'étude de l'entretien des oscillations par un générateur à triode (1).

Mais le champ d'application le plus habituel de cette méthode est l'étude des lignes de transmission, celle des lignes artificielles à constantes localisées et celle des filtres électriques simples et composés (1).

Ces derniers dispositifs, encore peu répandus par suite de la complexité de leur calcul, sont à la veille de faire faire d'importants progrès à la technique des transmissions radioélectriques.

Dans ces dernières catégories de problèmes les grandeurs complexes interviennent non seulement sous forme de relations algébriques, mais aussi comme fonctions transcendantes (exponentielles, circulaires ou hyperboliques).

On sait que lorsqu'on considère des nombres complexes il n'y a pas à faire de distinction entre les fonctions trigonométriques circulaires et les fonctions trigonométriques hyperboliques comme lorsqu'il s'agit de nombres réels. On n'a plus à étudier qu'une seule et unique trigonométrie complexe qui comprend toujours à la fois des éléments circulaires et des éléments hyperboliques.

Il est alors nécessaire de disposer de tables de ces fonctions transcendantes complexes, tables qui ont été dressées par le professeur Kennelly. L'emploi de ces tables nécessite en général une double interpolation (partie réelle et partie imaginaire), travail peu aisé qui fait perdre en partie à la méthode de calcul envisagé ses principales qualités, la simplicité et la rapidité. C'est pourquoi on utilise, de préférence aux tables, les abaques de Kennelly qui en sont la traduction graphique et qui remplacent l'interpolation numérique par

(*) Marius Latour et Georges Viard. *Revue générale de l'Electricité*, 20 juillet 1918, t. IV, p. 67-71.

A. Blondel; Sur les méthodes modernes de calcul et sur le régime de fonctionnement des lignes de transmission d'énergie à haute tension. *Revue générale de l'Electricité*, 31 juillet, 7, 14 et 21 août 1920, t. VIII, p. 131-141, 163-174, 195-206 et 227-236.

(**) *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 16 juin 1930, t. CXC, p. 1357-1359.

(1) L. Abelès; Détermination de la condition d'entretien et de la période d'oscillation d'un oscillateur à triode. *Revue générale de l'Electricité*, 21 avril 1928, t. XXIII, p. 696-701.

(1) C'est précisément le calcul d'un tel système qui, faute de tables, qu'il est impossible de se procurer, nous a conduit à établir l'abaque étudié ci-après.

une interpolation graphique (à deux dimensions encore) plus aisée quoique encore assez gênante.

Pour remédier dans une certaine mesure aux difficultés indiquées ci-dessus, nous nous sommes proposé d'établir un abaque qui nous paraît plus simple à la fois dans sa construction et dans son emploi, que ceux de M. Kennelly.

Cette simplicité d'emploi résulte de l'utilisation de la méthode des points alignés (1), les valeurs correspondantes de la variable et de la fonction étant lues très commodément par simple alignement et l'interpolation à deux dimensions étant évitée.

La simplicité de construction résulte du tracé d'une seule courbe (conique) au lieu d'un double système de réseau de courbes. Cette simplicité est telle qu'on pourra, en général, éviter l'emploi d'un abaque préparé à l'avance et construire pour chaque cas particulier le graphique qui donne le maximum de précision. Celle-ci peut être accrue considérablement à l'intérieur d'un domaine déterminé de variation des variables par un choix judicieux des constantes du graphique, ainsi que nous le verrons plus loin.

II. **Principe de l'abaque proposé.** — Le problème posé est le suivant : étant donné un nombre complexe $\theta = x + iy$, nous nous proposons de déterminer la valeur des fonctions $\sin\theta$, $\cos\theta$, $\sinh\theta$, $\cosh\theta$. Le même abaque sera utilisé pour déterminer les quatre fonctions ci-dessus, de même qu'en trigonométrie réelle la même table est utilisée pour déterminer les valeurs des sinus et des cosinus. En effet si on pose

$$\cos\theta = \sin\theta' = \cosh\theta_1 = \sinh\theta'_1,$$

au facteur ± 1 ou $\pm i$ près les angles θ', θ_1, θ'_1, se déduisent de θ par une expression très simple.

En outre, l'abaque fournit à la fois la valeur naturelle des fonctions et leur logarithme.

Soit par exemple à calculer

$$\cos(x + iy) = p + iq = \rho \angle \alpha\ (2) = e^{\beta + i\alpha}.$$

L'abaque utilisé devra permettre, étant donné la valeur numérique de x et de y, de trouver les valeurs numériques de p et q et celle de ρ et α ou inversement (3).

D'une façon plus générale, étant donné deux des variables $x, y, p, q, \rho, \alpha, \beta$, on devra pouvoir déterminer les quatre autres. L'abaque que nous avons établi résout le problème par la méthode des points alignés. Cet abaque comprend essentiellement (fig. 1) :

une droite Op (axe des p), sur laquelle sera portée l'échelle des p ;

une droite O'q (axe des q), parallèle à la précédente, sur laquelle sera portée l'échelle des q ;

une courbe conique (hyperbole dans le cas général) supportant l'échelle des x et des y ;

une droite $O_1\rho$ (parallèle aux axes p et q) supportant l'échelle des ρ, ainsi que l'échelle β dont nous verrons le rôle ;

une droite OO' (axe de base) supportant l'échelle des α.

Suivant la forme et la disposition relative des

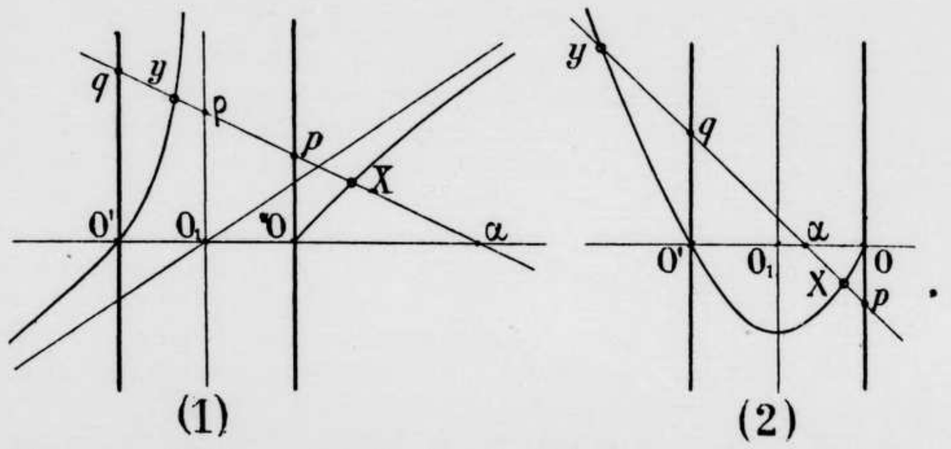


Fig. 1. — Schéma de principe de l'abaque proposé. Disposition générale des échelles : (1), abaque type A_1 ; (2), abaque type A'_1.

échelles des p et q nous distinguerons les différents types d'abaque ci-après :

1° Les échelles p et q sont construites avec le même module η.

a) p et q étant portés d'un même côté à partir de l'axe de base (abaque type A_1) ;

b) p et q étant portés de part et d'autre de l'axe de base (abaque type A'_1) ;

2° Les échelles p et q sont construites avec des modules différents η_p et η_q ; le rapport des modules étant $\mu^2 = \frac{\eta_q}{\eta_p}$;

a) p et q sont portés d'un même côté de OO' (abaque type A_μ) ;

b) p et q sont portés de part et d'autre de l'axe de base (abaque type A'_μ).

Dans chacun des types ci-dessus, on pourra encore avoir l'axe de base perpendiculaire aux axes des p et des q ou oblique. Selon le genre de calcul à effectuer et les valeurs relatives des différentes grandeurs considérées, on pourra avoir intérêt à utiliser l'un ou l'autre de ces types d'abaque.

Nous verrons plus loin qu'on peut également utiliser des abaques analogues dans lesquels les axes p, q et ρ, au lieu d'être parallèles sont concourants. Nous désignerons ces abaques par les notations B, B', B_μ, B'_μ.

III. **Construction de l'abaque.** — 1. Tracé des courbes. — Les principales propriétés géométriques de l'abaque à échelles parallèles sont résumées dans la figure 2 et les formules suivantes qui fournissent les

(1) Le principe de cette méthode due à M. d'Ocagne est exposé dans les divers ouvrages de cet auteur ; notons en particulier : *Calcul graphique et nomographie*, édité par la librairie Octave Douin (1924).

(2) Suivant la notation très commode de Kennelly, nous désignerons par $\rho \angle \alpha$ une grandeur complexe de module ρ et d'argument α.

(3) Suivant les cas, on aura intérêt à utiliser le résultat sous la forme $p + i_q$ (s'il entre comme terme dans une somme par exemple) ou sous la forme $\rho \angle \alpha$ (s'il se présente comme facteur d'un produit).

éléments utiles à la construction des courbes, les points remarquables et leur tangente. Si l'on pose $OO' = \Delta$, on a (fig. 2) :

$$OO_1 = O'O'_1 = \frac{\Delta}{\mu^2 + 1},$$

$$OO_2 = O'O'_2 = \frac{\Delta}{\mu^2 - 1},$$

$$OM = OM_1 = r_p \quad (p = 1),$$

$$O'M' = O'M'_1 = r_q \quad (q = 1),$$

$$ON = ON_1 = \frac{r_p}{4} \quad (p = 0{,}5),$$

$$O'N' = O'N'_1 = \frac{r_q}{4} \quad (q = 0{,}5),$$

$$\frac{OM}{O'M'} = \frac{ON}{O'N'} = \ldots = \frac{1}{\mu^2} = \frac{r_p}{r_q},$$

$$O\mu = \mu^2 \times r_p \quad (p = \mu),$$

$$Or_1 = \left(\frac{\mu}{\sqrt{\mu^2 + 1}}\right)^2 r_p, \quad OR_1 = \left(\frac{\mu^2}{\mu^2 + 1}\right)^2 r_p,$$

$$Or_2 = \left(\frac{\mu}{\sqrt{\mu^2 - 1}}\right)^2 r_p, \quad OR_2 = \left(\frac{\mu^2}{\mu^2 - 1}\right)^2 r_p.$$

Les points X_1 et X_2 correspondent à $x = \frac{\pi}{4}$ et X_0 et X_∞ correspondent à

$$x = \text{arc tg } \frac{1}{\mu}.$$

Les asymptotes de l'hyperbole sont $\Omega_1 O_1$, $\Omega_1 O'_1$ pour le type A.

$\Omega_2 O_2$, $\Omega_2 O'_2$ pour le type A'.

Lorsqu'on change le sens relatif des échelles p et q c'est-à-dire lorsqu'on passe du type A au type A', l'abaque conserve ses propriétés essentielles.

Les échelles ρ, α et ρ', α', ont la même forme mais elles sont intérieures aux axes p et q dans un cas, extérieures dans l'autre (1). Elles sont utilisées de la même façon dans les deux cas. Les points de même cote des échelles α et α' (2) forment avec O et O' une division harmonique. En général, on superposera toujours sur un même graphique l'abaque A et l'abaque A' correspondant aux mêmes échelles p et q.

2. Graduation des échelles. — Les échelles rectilignes et curvilignes des divers types d'abaque, quels que soient leur forme et les modules choisis, peuvent être graduées projectivement à partir des mêmes étalons de graduation qui sont des échelles fonctionnelles simples.

(1) Dans le type A'$_1$, l'axe ρ est rejeté à l'infini. L'utilisation d'un abaque de ce type offre quelques particularités sur lesquelles nous ne nous arrêterons pas.

(2) En particulier les points où les axes ρ et ρ' coupent l'axe de base qui correspondent à $\alpha = 0{,}5$ quadrant.

1° *Echelles des p, q, ρ et ρ'.* — Ce sont des échelles quadratiques, c'est-à-dire telles que la distance à l'origine du point de cote p est $\eta\, p^2$, η étant le module de l'échelle.

Les modules de deux de ces échelles, p et q par exemple, peuvent être choisis arbitrairement (soit η_p et η_q).

Un même faisceau projetant détermine les échelles ρ, ρ' et p lorsqu'il a pour sommet O' ; ρ, ρ' et q lorsqu'il a pour sommet O.

2° *Echelles des β.* — Ce sont des échelles exponentielles qui utilisent les mêmes supports que les échelles

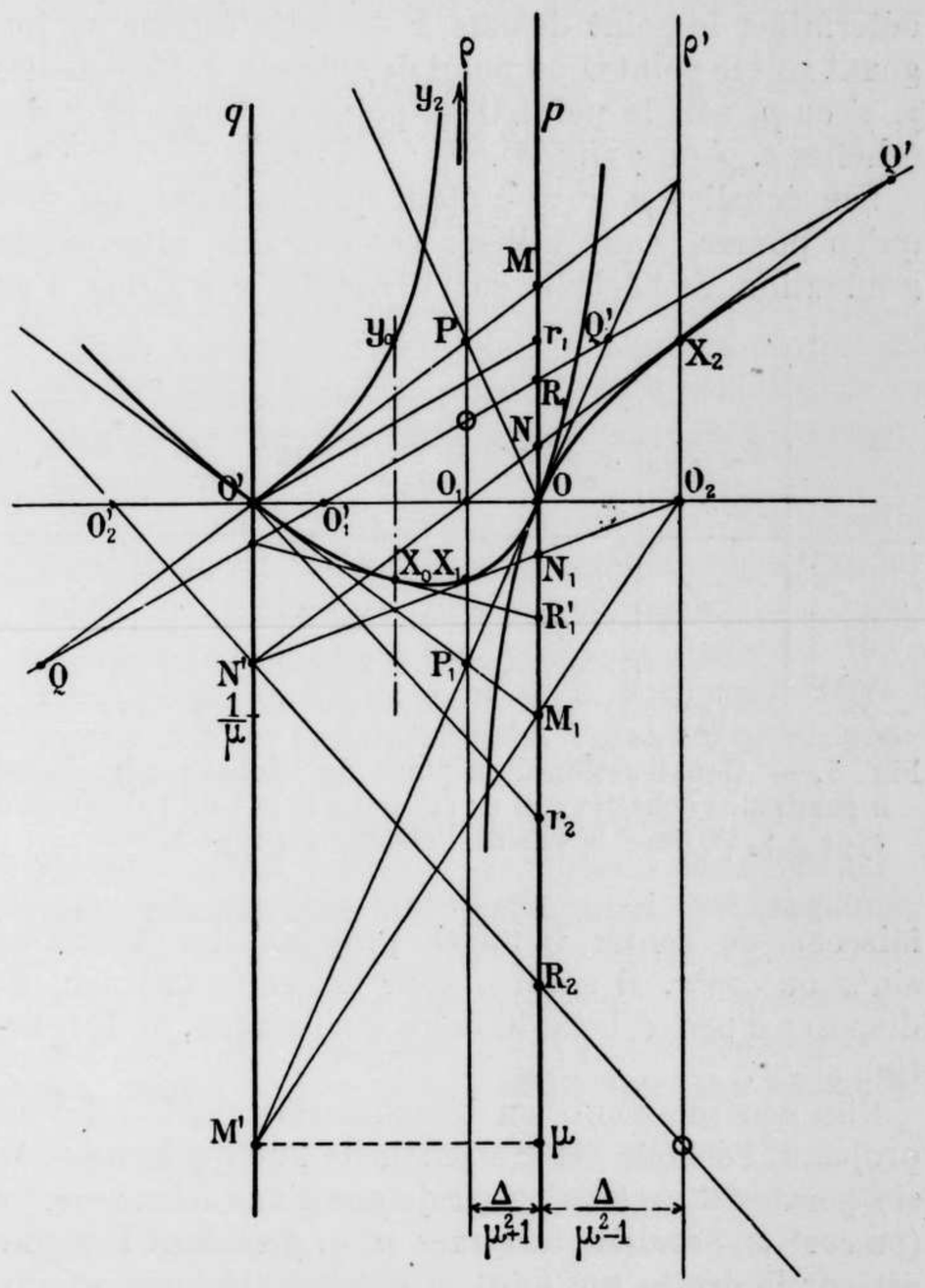


Fig. 2. — Détermination des points principaux intervenant dans la construction de l'abaque, type Aμ A'μ (la figure a été construite avec $\mu^2 = 3$).

des ρ, la cote d'un point de l'échelle des β étant le logarithme népérien du nombre correspondant lu sur l'échelle des p.

Il résulte d'une propriété connue de la fonction exponentielle que toutes les échelles exponentielles sont non seulement semblables mais identiques : seule la cote des différents échelons est modifiée lorsqu'on change le module ; cette propriété facilitera les tracés.

3° *Echelles des x et y.* — Ces échelles sont à support curviligne, la courbe de support étant pour les deux échelles des arcs différents de la même conique.

L'une est périodique l'autre apériodique.

L'échelle périodique (échelle des x pour sinus et cosinus, échelle des y pour sinh et cosh) a une période égale à π.

Pour chaque période, l'échelle est parcourue deux fois, d'abord dans un sens, puis en sens inverse, les points de cote $x, x+\pi \ldots x+k\pi$ et $-x, \pi-x, \ldots k\pi-x$ étant confondus. Pour faciliter l'emploi, cette échelle a été graduée en fractions décimales de quadrant et elle porte deux graduations, complémentaires par rapport à l'unité. Nous verrons plus loin, comment malgré cette double graduation, il n'y a aucune ambiguïté dans la lecture des valeurs.

Pour la graduation de l'échelle périodique, on pourra déterminer le point de cote x de cette échelle en joignant soit le point O′ au point de cote sin x des échelles ρ, ρ' ou p, soit le point O au point de cote cos x des échelles ρ, ρ' ou q (fig. 3).

Les échelles p, q et ρ étant quadratiques, on voit qu'on pourra, sans utiliser ces échelles, effectuer la graduation de l'échelle curviligne des x à l'aide d'un

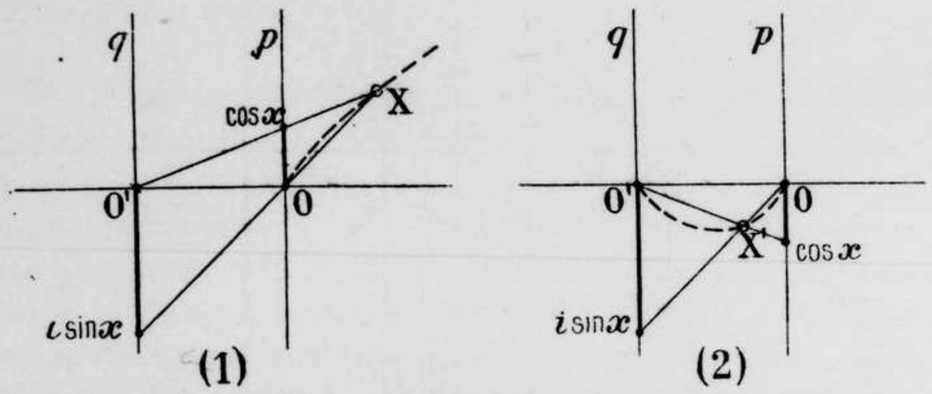


Fig. 3. — Construction d'un point de l'échelle périodique à partir des échelles p et q : (1), dans le cas de l'abaque du type A ; (2), dans le cas de l'abaque du type A′.

faisceau de centre O ou O′ projetant les fonctions $\sin^2 x$ ou $\cos^2 x$. Il suffira, pour tracer ce faisceau, de disposer d'une échelle linéaire quelconque, de la fonction $\sin^2 x$.

Plus généralement, on démontrerait que le faisceau projetant l'échelle des x à partir de l'un quelconque de ses points est un faisceau projetant d'une échelle $\sin^2 x$ (ou $\cos^2 x$) parallèle aux axes p, q, ρ et dont l'origine est sur la droite qui joint le sommet du faisceau aux points O ou O′ (1).

L'échelle apériodique (échelle des y pour sin et cos, échelle des x pour sinh et cosh) est graduée en radians hyperboliques.

Relativement à cette graduation, l'exposé ci-dessus peut être repris point par point en remplaçant « sinus » par « sinus hyperbolique » et « cosinus » par « cosinus hyperbolique » (fig. 4).

Remarques. — Les échelles fonctionnelles $\sin^2 x$ et $\cos^2 x$ sont identiques entre elles et semblables aux échelles des fonctions $\sin x$ ou $\cos x$; l'origine de la graduation est seule changée : on passe de l'échelle $\sin^2 x$ à l'échelle $\cos^2 x$ en intervertissant l'origine et l'extrémité.

(1) Cette propriété sera utilisée pour les parties de l'échelle curviligne dont la graduation serait mal déterminée par les faisceaux projetants de sommet O ou O′.

De même, la fonction $\cosh^2 y$ n'est autre que la fonction $\sinh^2 y$ dont l'origine a été déplacée.

4° *Echelles des α et α'.* — Cette échelle se confond avec la projection orthogonale de l'échelle périodique étudiée

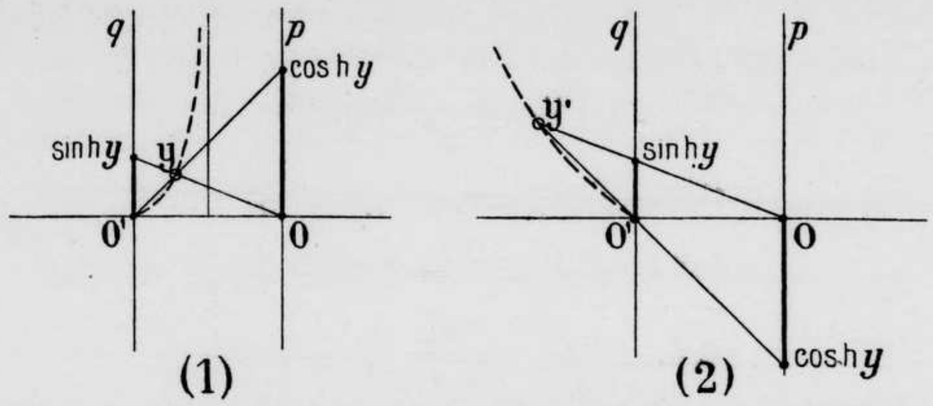


Fig. 4. — Construction d'un point de l'échelle apériodique à partir des échelles p et q : (1), dans le cas de l'abaque du type A ; (2), dans le cas de l'abaque du type A′.

ci-dessus, sur l'axe de base. Cette propriété pourra être utilisée pour tracer l'échelle périodique à partir de l'échelle des α ou inversement.

L'échelle des α admet évidemment la même loi de périodicité que l'échelle périodique ; celle-là comme celle-ci est graduée en quadrants et porte deux graduations complémentaires.

La graduation de l'échelle des α peut être faite à partir des échelles p et q en utilisant la construction des figure 5 à 6, les valeurs sin, cos ou tg étant lues sur les échelles p et q.

Ces constructions montrent que l'échelle des α est projective d'une échelle tg^2 et d'une échelle $\sin^2$ ou

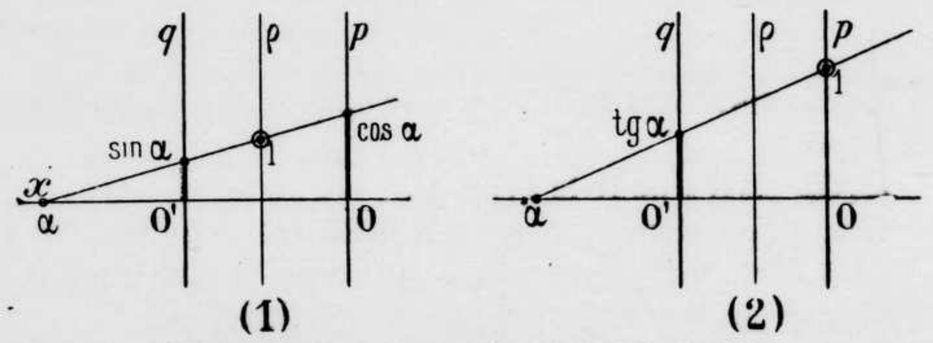


Fig. 5. — Construction d'un point de l'échelle des α à partir des échelles p et q : (1), le centre de projection est le point $p = 1$; (2), le centre de projection est le point $\rho = 1$.

$\cos^2$ et peut être graduée directement en partant de l'une de ces échelles (fig. 6).

5° *Points à l'infini des échelles x et y : Permutation des axes p et q.* — Le point à l'infini de l'échelle apériodique correspond à la valeur $y = \mathrm{arctgh}\,\frac{1}{\mu}$. Le point à l'infini de l'échelle périodique à la valeur $x = \mathrm{arctg}\,\frac{1}{\mu}$ (1). Pour ces valeurs, il y a changement de branche de la courbe de support (2).

(1) Le point à l'infini de l'échelle α correspond évidemment à la même valeur.

(2) La deuxième branche de l'échelle apériodique n'est tracée que sur des abaques pour lesquels μ est très différent de 1.

Les valeurs de x et de y voisines de celles qui correspondent aux points à l'infini ne peuvent évidemment figurer sur l'abaque.

Mais il suffira de permuter les axes p et q pour passer de l'abaque A_μ à l'abaque $A_{\frac{1}{\mu}}$ et faire ainsi rentrer dans les limites du graphique les points qui en sortaient.

Lorsqu'on passe du type A_μ au type $A_{\frac{1}{\mu}}$, les axes p et q étant permutés comme nous venons de le voir, on doit changer d'échelle apériodique et d'échelle des ρ.

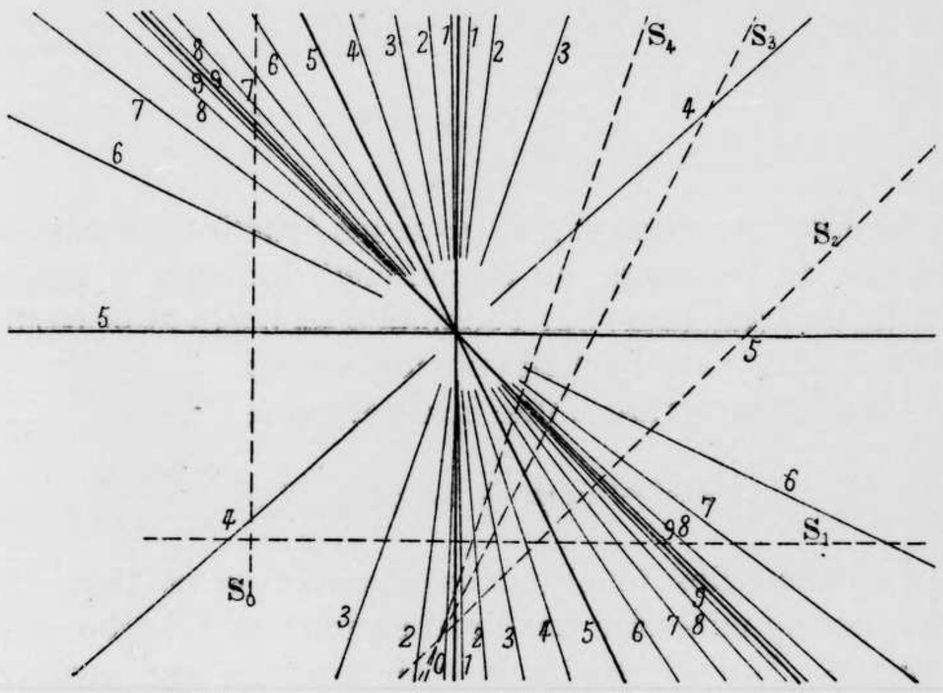


Fig. 6. — Faisceau projetant la fonction $tg^2 x$: les rayons ont été tracés pour des valeurs de x croissant de 0,1 en 0,1 quadrant; cinq sécantes sont figurées sur le faisceau, à savoir : S_1, correspondant à $\mu = 1$, et déterminant l'échelle fonctionnelle telle $\cos^2 x$; S_2, S_3, S_4 correspondant respectivement à $\mu = 2$, $\mu = 3$, $\mu = 4$; $S\infty$ correspondant à $\mu = \infty$ et déterminant l'échelle fonctionnelle $tg^2 x$.

L'échelle périodique est conservée, mais le sens de sa graduation est inversé, la cote x devenant $1 - x$.

Il en est de même de l'échelle des α.

3. Unités employées pour les angles. — Les éléments x et y de l'angle complexe $0 = x + iy$ se présentent naturellement sous forme d'angles circulaires et hyperboliques évalués en radians. Les échelles correspondantes doivent donc normalement être graduées en radians.

Toutefois, l'emploi du radian comme unité d'angle circulaire, présente un inconvénient dû à la périodicité 2π des fonctions de ces angles. Dans les calculs, il convient de remplacer l'angle x par l'angle circulaire inférieur à 2π ayant même extrémité sur le cercle de référence ; chaque point de l'échelle des x représente, en effet, une infinité de valeurs de x différant entre elles de 2π. Cet intervalle est très peu commode pour la graduation des échelles. Pour éviter cette difficulté, l'échelle des x a été graduée en fractions décimales de quadrant. Mais lors de l'emploi, il devient nécessaire de « quadranter » les angles, c'est-à-dire de passer de la valeur d'un angle exprimée en radians à sa valeur exprimée en quadrants ce qui revient à diviser x, exprimé en radians, par $\frac{\pi}{2}$, soit

$$x \text{ radians} = \frac{x}{1{,}5708} \text{ quadrants.}$$

La résolution graphique de cette opération est des plus simples par juxtaposition de deux échelles, l'une graduée en quadrants, l'autre en radians. Mais pour l'effectuer d'une façon plus aisée et plus précise, nous avons établi un abaque auxiliaire reproduit sur l'abaque principal en Q, M, R (fig. 7).

Malgré son caractère très simple, cet abaque présente quelques particularités sur lesquelles nous nous arrêterons.

Pour obtenir une assez grande précision tout en conservant au graphique des dimensions réduites, nous avons séparé l'échelle des « caractéristiques » (partie entière de l'angle) et celle des « mantisses » (partie décimale). Les premières se lisent sur l'échelle médiane, les secondes sur les échelles extérieures.

Pour les fonctions circulaires, c'est la partie réelle, qui est périodique et qui doit être traduite en quadrants ; pour les fonctions hyperboliques, c'est la partie imaginaire y.

D'autre part, nous avons vu que l'échelle périodique porte deux graduations, complémentaires par rapport à l'unité. La graduation à employer dépend de la fonction calculée (sin, sinh ou cos, cosh) du quadrant de l'élément périodique x ou y, et de la position relative des axes p et q sur l'abaque ; nous avons vu qu'on pouvait permuter ces axes.

On peut pour choisir la graduation qui doit être utilisée (1), affecter d'un signe chacun des éléments qui interviennent dans la détermination, par exemple :

Fonctions.	Position des axes.	Quadrants.	Graduation.
cos, cosh (+)	q-p (+)	II et IV (+)	soulignée (+)
sin, sinh (—)	p-q (—)	I et III (—)	non soulignée (—)

Il suffit de faire le produit des signes des trois éléments connus pour obtenir le signe attribué au quatrième élément.

4. Règle des signes. — Jusqu'ici nous avons fait abstraction des signes dont pouvaient être affectés les nombres x, y, p, q, dont nous n'avons considéré que les valeurs absolues. L'abaque, tel que nous l'avons défini nous a permis en partant des valeurs absolues x et y (parties réelle et imaginaire de la variable) de déterminer les valeurs absolues p et q (parties réelle et imaginaire de la fonction). De même une table trigonométrique ordinaire ne fournit pas le signe des fonctions, ce signe devant être déterminé, d'autre part, par l'application d'une règle particulière. Mais, alors qu'un nombre réel dont la valeur absolue est connue n'est

(1) Sur l'abaque original, l'une des graduations est rouge, l'autre noire. Pour permettre la reproduction, les chiffres de la graduation primitivement rouge sont ici soulignés (fig. 7).

susceptible que de deux déterminations, + et —, un nombre complexe dont on connaît en valeur absolue la partie réelle p et la partie imaginaire q, peut prendre une des quatre déterminations suivantes

$$p+iq, \quad -p+iq, \quad -p-iq, \quad p-iq,$$

à chacune desquelles correspond un argument α situé respectivement dans le premier, deuxième, troisième et quatrième quadrants.

Le tableau I permet de déterminer celle de ces quatre expressions qu'il convient de choisir pour sin 0 et cos 0 en fonction du signe de y et du quadrant de x (1).

TABLEAU I.

QUADRANT DE α	cos 0		signe de y ← →	sin 0	
	−	+		+	−
1	I	IV	$p+iq$	I	II
2	II	III	$-p+iq$	IV	III
3	III	II	$-p-iq$	III	IV
4	IV	I	$p-iq$	II	I
	quadrant de x				

Nous avons vu que ce quadrant est indiqué en même temps que la partie décimale de x par l'abaque à quadranter les angles définis plus haut (fig. 7).

Le tableau II permet la même détermination pour les

TABLEAU II.

QUADRANT DE α	cosh 0		signe de x ← →	sinh 0	
	−	+		+	−
1	IV	I	$p+iq$	I	II
2	III	II	$-p+iq$	II	I
3	II	III	$-p-iq$	III	IV
4	I	IV	$p-iq$	IV	III
	quadrant de y				

(1) Il ne suffit pas, en effet, de connaître le signe de x, l'angle x, qu'il soit positif ou négatif, pouvant avoir son extrémité dans l'un quelconque des quatre quadrants du cercle de référence.

fonctions sinh θ, cosh θ en tenant compte du signe de x et du quadrant de y.

IV. **Calcul des fonctions logarithmiques et exponentielles complexes.** — Etant donné un nombre complexe $p+iq$, son logarithme naturel a pour expression

$$\log_e (p+iq) = \log_e \sqrt{p^2+q^2} + i \operatorname{arc\,tg} \frac{p}{q} = \beta + i\alpha,$$

en posant

$$\beta = \log_e \sqrt{p^2+q^2} = \log_e \rho,$$

et

$$\frac{p}{q} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Si donc nous lisons p et q sur les échelles correspondantes de l'abaque, un alignement donnera la partie réelle du logarithme sur l'échelle $\beta = \log_e \rho$ et la partie imaginaire $i\alpha$ sur l'échelle normale des α.

On déterminerait, d'une façon inverse

$$e^{(\beta+i\alpha)} = p+iq = \rho \angle \alpha.$$

Le calcul des fonctions exponentielles et logarithmiques ne nécessite pas l'utilisation des échelles curvilignes. Mais l'échelle des ρ doit porter une graduation supplémentaire en $\log_e \rho = \beta$.

1° *Cas des nombres réels.* — Les logarithmes et exponentielles sont déterminés par simple lecture des valeurs juxtaposées des échelles ρ et β

$$e^{\beta} = \rho, \qquad \log_e \rho = \beta.$$

2° *Logarithmes des fonctions circulaires et hyperboliques.* — Etant donné la variable $x+iy$, on voit par ce qui précède que l'alignement x-y qui détermine la fonction circulaire ou hyperbolique $p+iq$ sur les axes p et q détermine en même temps le logarithme de cette fonction $\beta+i\alpha$ sur les axes β et α.

V. **Forme la plus générale de l'abaque.** — Dans les graphiques examinés ci-dessus et pour lesquels on avait pris comme axes des p et des q, des droites parallèles les courbes des x et y sont généralement des hyperboles. Mais il est possible de faire en sorte que la courbe des x et y soit une conique quelconque donnée à priori, en choisissant convenablement les axes p et q qui peuvent être concourants. Il serait facile de démontrer que l'axe intérieur ρ et l'axe extérieur ρ′ concourent au même point que les axes p et q.

Comme pour l'abaque à axes p et q parallèle, on peut considérer différents cas selon que les échelles p et q sont égales ou non, de même sens ou de sens contraire (types B_μ et B'_μ).

Ainsi dans le cas de l'abaque de la figure 12 la conique de support des échelles x et y est un cercle (ce cas particulièrement simple est figuré à titre d'exemple).

On établirait facilement les propriétés ci-après de l'abaque le plus général :

Les axes p, q, ρ et ρ' constituent un faisceau harmonique ;

Les échelles portées par ces axes sont projectives d'échelles quadratiques, c'est-à-dire de la forme $\frac{ap^2+b}{cp^2+d}$.

L'abaque à échelles parallèles qui a été examiné plus haut constitue un cas particulier simple qui convient à la plupart des applications. Mais il peut être intéressant dans certains cas de recourir à l'emploi d'un graphique de forme différente (notamment lorsqu'on doit faire figurer des valeurs élevées de p, q ou ρ dans les limites de l'épure).

Ces différents types d'abaque se déduisent l'un de l'autre par transformation homographique.

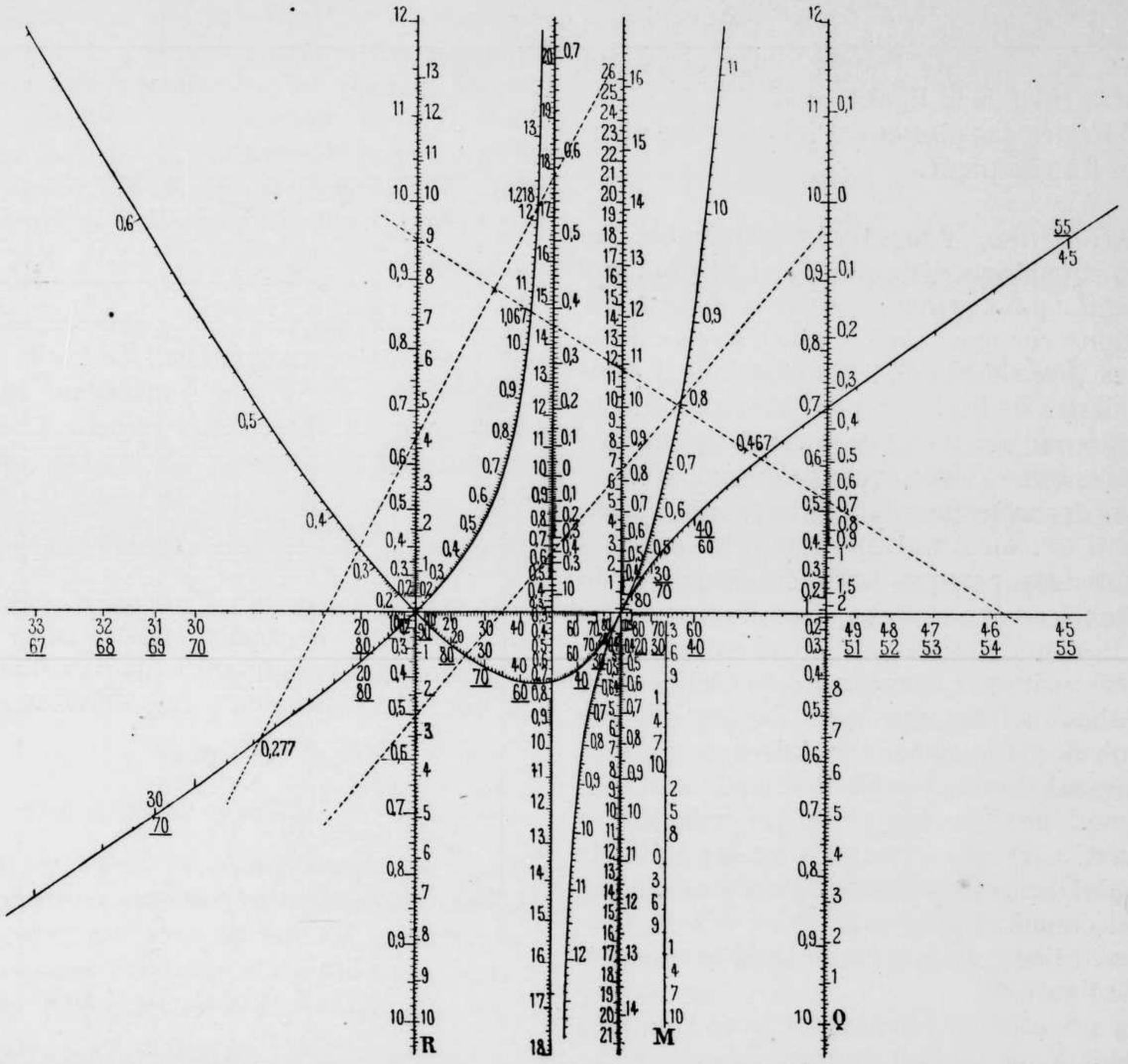


Fig. 7. — Abaque A_2 et $A_{0,5}$. Cette figure étant la réduction d'une planche de 55 cm × 45 cm, le resserrement des chiffres et la suppression des graduations rouges (remplacées ici par des chiffres soulignés) la rendent difficilement visible. Elle ne doit être considérée que comme un schéma.

VI. **Exemple de calcul numérique**. — Pour fixer les idées sur le mode d'utilisation de l'abaque nous traiterons un exemple concret de calcul numérique. Soit à calculer l'expression

$$I_1 \angle \varphi = I_0 \frac{\sinh \theta_1}{\sinh \theta_0} = (83{,}3 + i\,50{,}4) \frac{\sinh (1{,}218 + i\,1{,}277)}{\sinh (1{,}067 + i\,0{,}467)}$$

nous poserons

$$\log_e \frac{I_1}{100} = \log_e (0{,}833 + i\,0{,}504) + \log_e \sinh (1{,}218 + i\,1{,}277) - \log_e \sinh (1{,}067 + i\,0{,}542).$$

Nous avons trois alignements successifs avec

1°	$p = 0{,}833.$	$q = 0{,}504,$
2°	$x = 1{,}218,$	$y = 0{,}277,$
3°	$x = 1{,}067,$	$y = \underline{0{,}467},$

qui donnent respectivement (fig. 7) :

1°	$\beta = -0{,}026,$	$\alpha = 0{,}348,$
2°	$0{,}582,$	$1{,}237,$
3°	$-0{,}370,$	$\bar{1}{,}458,$

d'où, $\log_e \frac{I_1}{100} \angle \varphi = 0{,}186, + i\,1{,}043,$

obtenu par addition;

soit $I_1 = 120{,}4$; $\varphi = 1{,}043$ (quadrant),

1,204 étant lu sur l'échelle ρ vis-à-vis de 0,186 sur l'échelle β.

Dans ce calcul, $I_1 \angle \varphi$ serait en grandeur et en phase le courant à l'origine d'une ligne uniforme, à l'extrémité de laquelle on brancherait un récepteur consommant un courant réactif de 50,4 mA et un courant actif de 83,3 mA, par exemple, l'angle hyperbolique du récepteur étant θ_0 celui de la ligne $\theta = \theta_2 - \theta_0$ (1).

L'origine arbitraire des phases est ici celle de la tension aux bornes du récepteur.

VII. Utilisation des propriétés générales de l'abaque : Applications diverses. — L'abaque que nous avons établi a pour principal objet la détermination des fonctions cos, sin, cosh, sinh, d'angles complexes. Mais les propriétés remarquables dont il jouit vont nous permettre de l'utiliser pour une quantité de calculs de toutes natures n'ayant souvent aucun lien de parenté visible avec l'objet principal. Nous verrons par les quelques exemples de calcul ci-après qu'il constitue un appareil de calcul universel dont les applications s'étendent dans presque tous les domaines du calcul algébrique.

1. Table trigonométrique circulaire. — L'utilisation normale de l'abaque telle que nous l'avons exposée pour le calcul des fonctions circulaires complexes permet évidemment comme cas particulier la détermination des fonctions d'angles réels (ou imaginaires pures) en faisant $y = 0$ (ou $x = 0$). Mais cette méthode nécessite l'emploi des échelles curvilignes de x ou de y dont on peut aisément se dispenser.

A cet effet, on utilisera de préférence la détermination indiquée sur la figure 8.

Il suffira de prendre un alignement avec l'angle lu sur l'échelle des α, et les points $\rho = 1$, $p = 1$, $q = 1$ pour obtenir respectivement les fonctions sin x et cos x, tg x et cosec x, sec x et cotg x. Avec l'abaque en « cos θ » on lit : sin et tg sur l'échelle des q, cos et cotg sur celle des p, sec et cosec sur celle des ρ, mais il est facile de reporter ces valeurs sur une même échelle.

Le même procédé, utilisé en sens inverse nous donnera les fonctions inverses arc sin, arc cos, etc.

2. Table trigonométrique hyperbolique. — Des considérations en tous points semblables aux précédentes vont nous permettre de déterminer les fonctions sinh et cosh, tgh et cotgh, sech et cosech, ainsi que les fonctions inverses.

Cette détermination se fera à partir d'une échelle γ, projection orthogonale de l'échelle apériodique curviligne sur l'axe de base (fig. 9).

(1) On sait que cet angle s'exprime en fonction des caractéristiques de la ligne (admittance complexe G et résistance complexe R) par la relation $\theta = \sqrt{GR}$.

De même que l'échelle α, l'échelle γ peut être tracée directement sans faire intervenir l'échelle curviligne dont elle est la projection (1).

3. Carrés et racines carrées. — Si nous accolons à l'une des échelles quadratiques p, q et ρ, une échelle métrique (2) de même module, nous pourrons lire

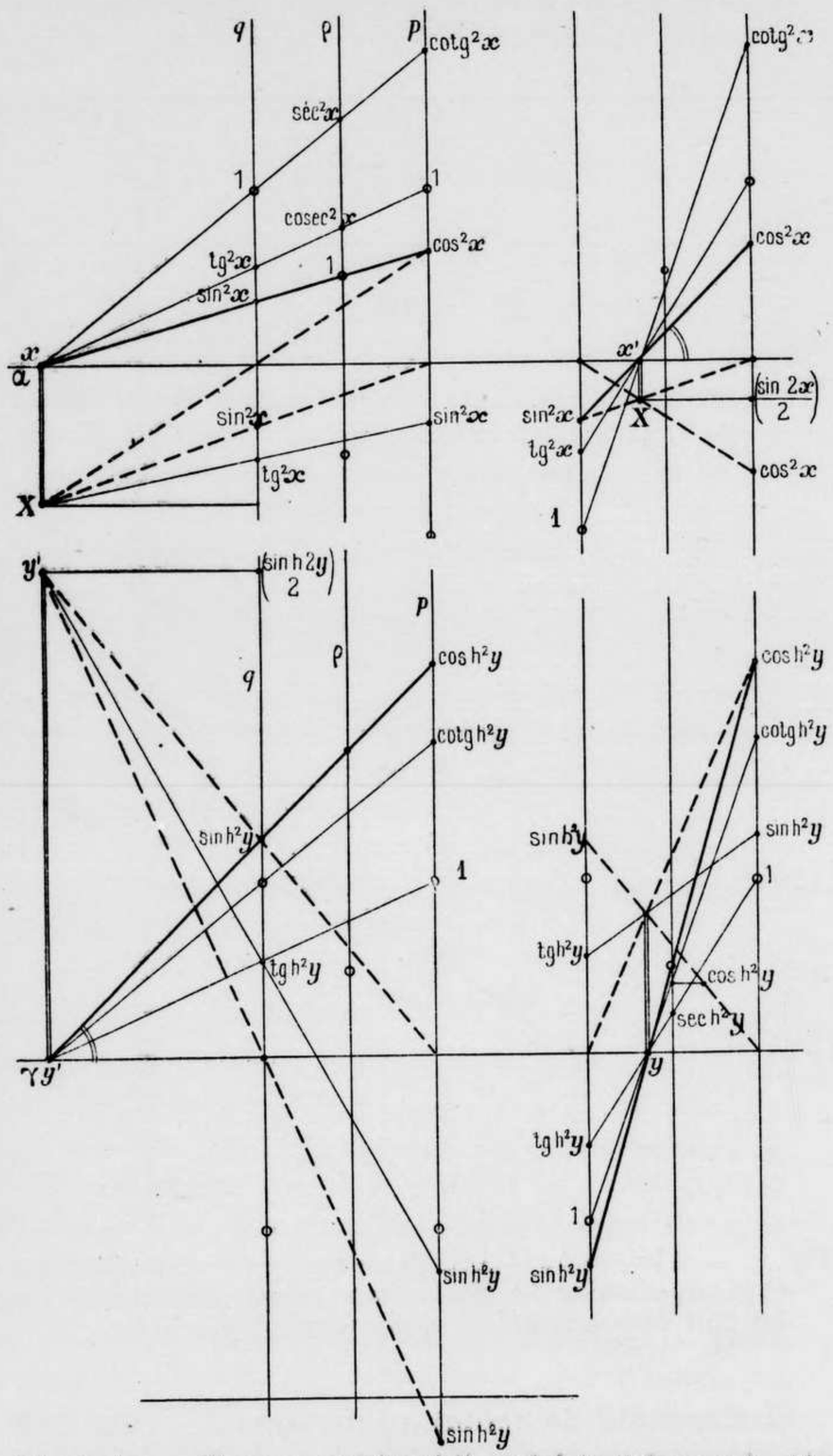


Fig. 8 et 9. — Figures montrant l'emploi de l'abaque $A_1 A'_1$: à la partie supérieure, abaque pour les calculs relatifs aux fonctions circulaires réelles ; à la partie inférieure, abaque pour les calculs relatifs aux fonctions hyperboliques réelles.

la valeur de p^2 sur cette échelle en regard de la valeur de p, lue sur l'échelle normale des p. Réciproque-

(1) Les cotes α et γ, d'un même point de l'axe de base, lues respectivement sur les deux échelles sont reliées par la formule des *latitudes croissantes* (2γ étant, sur une carte de Mercator, la distance à l'équateur du point dont la latitude est 2α.)

(2) Rappelons qu'on appelle *échelle métrique* celle dont tous les échelons sont égaux, comme dans le mètre ou le décimètre de dessinateur.

quement nous pourrons lire $\sqrt{r}$ sur l'échelle des p, en regard du nombre r lu sur l'échelle métrique.

Il sera ainsi possible d'obtenir directement les carrés des fonctions circulaires et hyperboliques ; nous déterminerons les fonctions $\cos^2$, $\sin^2$, tg^2, $\sec^2$, ch^2, sh^2, th^2, sech^2, ... et les fonctions inverses, en procédant comme pour la détermination des fonctions naturelles cos..., cosh... mais en utilisant au lieu des échelles normales p, q, ρ les échelles métriques qui leur sont accolées.

Remarque. — La propriété précédente s'applique immédiatement aux calculs où interviennent les *puissances actives, réactives et apparentes, et le déphasage* du courant sur la tension, ces grandeurs pouvant être assimilées respectivement aux parties réelle et imaginaire, au module et à l'argument d'un nombre complexe.

4. Passage de la forme $p + iq$ a la forme $\rho \angle \alpha$ et réciproquement. — Une quantité complexe peut être exprimée sous la forme cartésienne $p + iq$ ou sous la forme polaire $\rho \angle \alpha$. L'abaque fournissant les deux formes simultanément permet de passer très facilement de l'une à l'autre.

L'alignement p-q donne $\rho = \sqrt{p^2 + q^2}$ et $\alpha = \mathrm{arctg}\frac{p}{q}$.

L'alignement ρ-α donne $p = \rho \cos \alpha$ et $q = \rho \sin \alpha$.

Ainsi que nous l'avons remarqué, la forme cartésienne sera utilisée pour les sommations alors que la forme polaire se prête plus particulièrement aux multiplications.

5. Calcul d'expressions de la forme $\frac{t}{v} = \frac{u}{s}$, $t = \frac{uv}{s}$. — *Cas de nombres réels.* — Considérons les nombres s, t, u, v, déterminés sur deux des échelles parallèles par deux alignements avec un point k quelconque de l'axe de base. Les relations de similitude dans les triangles ainsi formés permettent d'écrire (fig. 10).

$$\frac{t}{v} = \frac{u}{s}, \quad t = \frac{uv}{s}, \quad st = uv.$$

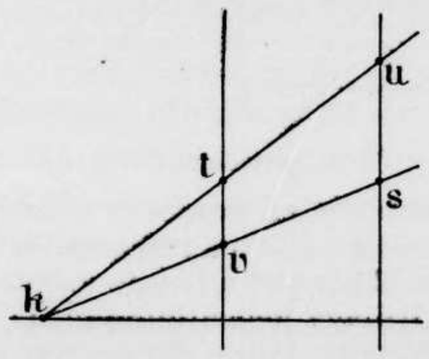


Fig. 10. — Construction permettant le calcul d'expressions de la forme $\frac{t}{v} = \frac{u}{s}$.

L'application réitérée de la règle ci-dessous permettra de calculer des expressions de la forme

$$t = \frac{mrv \ldots}{ns \ldots}$$

avec les cas particuliers $m = 1$, $r = 1$, etc... ; le nombre des facteurs en numérateur et en dénominateur pouvant être quelconque.

Par exemple $t = uv$, $u = \frac{t}{v}$ (produit et quotient simple). $u = \frac{1}{v}$ (inversion).

Application aux nombres complexes. — Les opérations que nous venons d'effectuer sur les quantités réelles t, u, v, peuvent sans difficulté être étendues à des quantités complexes telles que

$$T = \rho_t \angle \alpha_t, \quad U = \rho_u \angle \alpha_u, \quad V = \rho_v \angle \alpha_v, \text{ etc.}$$

On sait, en effet, que l'expression $T = \frac{UV}{S}$ par exemple se traduit par les relations

$$\rho_t = \frac{\rho_u \rho_v}{\rho_s} \quad \text{et} \quad \alpha_t = \alpha_u + \alpha_v - \alpha_s.$$

Le calcul des modules s'effectuera donc comme nous venons de le voir pour les grandeurs réelles, t, u. v. Celui des arguments sera l'objet d'une opération indépendante (addition).

L'extrême facilité avec laquelle l'abaque permet de passer de la forme $a + bi$ à la forme $\rho \angle \alpha$ rend à peine nécessaire la distinction qui pourrait être faite entre ces deux expressions.

En général, les données et les résultats seront exprimés à la fois sous les deux formes sur l'abaque.

Remarque. — Dans les expressions ci-dessus, les paramètres t, u, v... peuvent être des nombres donnés, des carrés ou racines de nombres donnés. Mais il est évident que le procédé de calcul envisagé présentera un intérêt particulier lorsque t, u, v... seront des fonctions circulaires, hyperboliques ou exponentielles des données.

6. Autres applications. — Ayant principalement en vue ici les applications à l'électrotechnique, nous ne pouvons nous étendre sur les diverses utilisations de l'abaque proposé. Nous nous bornerons à mentionner son emploi possible pour le calcul de certaines expressions algébriques telles que

$$\sqrt{(z^2 \pm q^2)(z^2 \pm b^2)}, \quad \frac{u\sqrt{v^2 \pm 1}}{v\sqrt{u^2 \pm 1}}, \text{ etc.,}$$

et d'expressions de la forme

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r'}.$$

La plupart des calculs précédents ne nécessitent qu'un ou deux alignements. Des problèmes plus compliqués seront résolus par plusieurs alignements successifs.

La résolution des triangles (plans ou sphériques) se fait en général par deux alignements.

Les équations trigonométriques, les équations algébriques peuvent être résolues par un nombre d'alignements qui dépend de leur degré (l'équation du 3e degré par exemple se résout par quatre alignements).

Mentionnons encore l'application qui peut être faite de l'abaque, à divers problèmes de navigation (détermination de la « route » en navigation loxodromique par exemple).

VIII. **Précision des résultats obtenus.**—Pour un graphique de dimensions déterminées, la précision obtenue pourra évidemment être d'autant plus grande que les limites entre lesquelles devront pouvoir varier les données seront plus restreintes.

Dans cet ordre d'idées, nous distinguerons les *abaques généraux* susceptibles d'être utilisés pour des valeurs quelconques des variables, ou du moins pour des valeurs variant dans de très larges limites, mais dont la précision ne sera pas très grande, et les *abaques particuliers* pour lesquels au contraire le champ de variation sera limité à des valeurs déterminées, parfois très voisines, mais dont la précision pourra être beaucoup plus grande que dans le cas précédent.

Bien que cette distinction puisse paraître à priori un

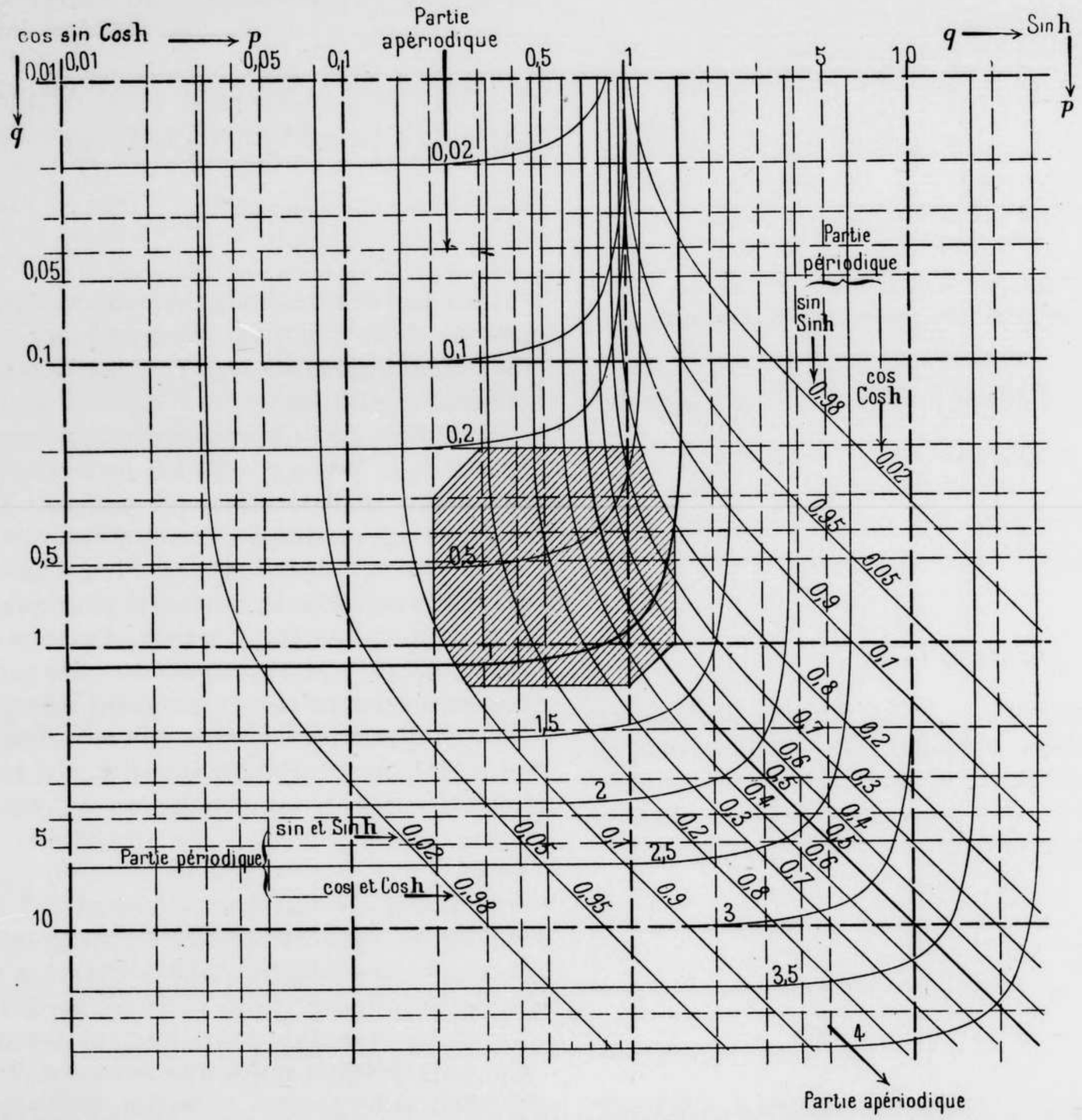


Fig. 11. — Abaque général couvrant la totalité du domaine utile de la trigonométrie en nombres complexes et donnant l'ordre de grandeur d'une fonction trigonométrique $p + iq$ de la variable $x + iy$. Si on a indiqué les limites d'emploi des divers abaques de l'atlas général, ce graphique permet de choisir aisément l'abaque à points alignés à utiliser pour un problème déterminé. On lit les éléments p et q de la fonction sur le quadrillage logarithmique; l'élément apériodique de la variable se lit sur les courbes à asymptotes rectangulaires; l'élément périodique, sur les courbes à asymptotes obliques.

peu artificielle (aucune limite précise ne pouvant être tracée entre les deux catégories) elle correspond à une réalité pratique.

En effet, lorsqu'on effectue un calcul, un projet d'appareil par exemple, on ne se propose pas, en général, de trouver du premier jet un résultat rigoureux et définitif. On commence par déterminer les caractéristiques approximatives (avant-projet) que l'on retouche ensuite pour arriver à la valeur exacte. Pour la première partie du calcul, on ne demande souvent qu'un ordre de grandeur, et on utilisera un abaque général.

On se servira, au contraire, d'un abaque particulier pour la deuxième partie du problème, soit que con-

naissant approximativement les divers éléments, on se propose de les déterminer avec précision, soit qu'on se propose d'étudier les variations de certains de ces éléments lorsqu'on apporte de petites modifications aux valeurs des autres.

L'abaque particulier ne sera donc pas autre chose qu'une fraction de l'abaque général qu'on aura isolée de l'ensemble et agrandie. Mais alors que l'abaque général nous rappellera toujours la forme caractéristique des graphiques que nous avons étudiés, l'abaque particulier se présentera sous forme d'éléments de droites (ou de courbes à grand rayon de courbure) sans rapports visibles entre elles et ne rappelant en rien la forme de l'abaque général dont il dérive.

Comme abaques généraux, on utilisera presque toujours des graphiques établis d'avance et susceptibles d'être employés pour toutes les catégories de problèmes. Il suffira à cet effet de disposer d'un atlas de 8 ou 10 abaques correspondant à un champ de variation suffisant pour les valeurs que peuvent pratiquement prendre les variables. Au contraire, les abaques particuliers devront dans presque tous les cas être établis spécialement pour un problème déterminé. Mais leur tracé sera toujours très facile, puisqu'il ne

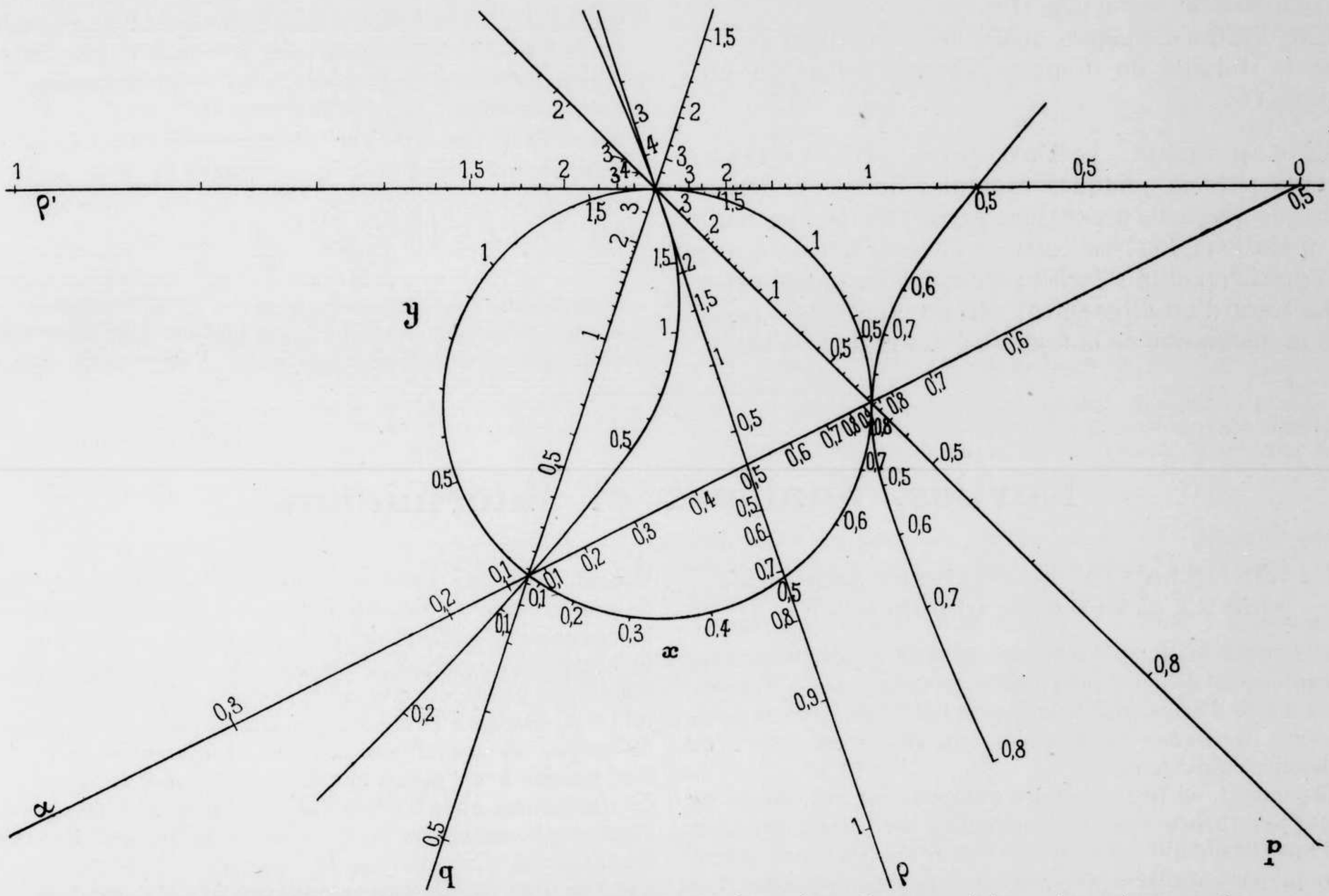


Fig. 12. — Type d'abaque à échelles $p\,q\,\rho$ concourantes : la conique de support de x et y est un cercle.

comporte que quelques éléments de droites et au maximum deux arcs de courbes qu'en raison de leur peu d'étendue on pourra remplacer par leur cercle osculateur, voire par leur tangente, sans altérer la précision. De même, la graduation des échelles se réduira à la détermination de trois ou quatre points, les divisions intermédiaires seront obtenues en assimilant la graduation à celle d'une échelle homographique, c'est-à-dire projective d'une échelle métrique (1).

Le domaine de variation des fonctions circulaires et hyperboliques est évidemment illimité, mais pratiquement dans les applications habituelles de la trigonométrie complexe, on pourra limiter les valeurs des variables à un certain domaine qui sera sensiblement celle de la figure 11, soit $0{,}01 < p$ ou $q < 30$, c'est-à-dire $0{,}01 < y < 4$ et $0{,}02 < x < 0{,}98$ (1).

Plus exactement si on se fixe une limite supérieure ε de l'erreur admissible, on pourra toujours déterminer pour x et y des valeurs $x_m\ x_M$ et $y_m\ y_M$ telles qu'on puisse écrire avec une erreur inférieure à ε (si petit que soit ε)

$$\left.\begin{matrix}\sin x = x\\ \cos x = 1\end{matrix}\right\} \text{pour } x \leqq x_m, \qquad \left.\begin{matrix}\sin x = 1\\ \cos x = x\end{matrix}\right\} \text{pour } x \geqq x_M$$

(1) La loi de graduation d'une telle échelle est de la forme $\dfrac{ax+b}{cx+d}$.

(1) Il ne s'agit ici que de la « mantisse » (partie décimale) de l'élément périodique; la partie entière peut prendre des valeurs quelconques et illimitées.

et

$$\left.\begin{matrix}\sinh y = y \\ \cosh y = 1\end{matrix}\right\} \text{pour } y \leq y_m, \quad \left.\begin{matrix}\sin h\, y \\ \cos h\, y\end{matrix}\right\} = \frac{e^y}{2} \text{ pour } y \geq y_M.$$

Les valeurs x_m x_M y_m y_M limiteront donc le domaine utile de la trigonométrie complexe. En dehors de ces limites les fonctions hyperboliques et circulaires pourront être remplacées par des fonctions plus simples.

Les limites de la figure 11 correspondent à une erreur ε inférieure à 0,002, acceptable pour les applications courantes.

La partie hachurée de cette figure représente le domaine d'utilisation de l'abaque reproduit à titre d'exemple dans cet article (fig. 7).

Une dizaine d'abaques analogues permettent de couvrir la totalité du domaine correspondant au graphique 11.

IX. **Conclusion**. — Ainsi qu'on peut s'en rendre compte par les quelques exemples donnés ci-dessus, l'abaque que nous présentons permet d'effectuer toutes les opérations dont est capable la règle à calcul avec une précision et une facilité d'emploi du même ordre.

Le tracé d'un alignement est, en effet, aussi rapide que la manœuvre de la réglette d'une règle à calcul.

Mais cet abaque permet en outre d'effectuer un grand nombre d'opérations comportant des expressions additives et qui ne sauraient être obtenues à la règle.

Enfin, son principal intérêt réside dans la facilité avec laquelle il permet de résoudre les problèmes de trigonométrie circulaire (plane ou sphérique) ainsi que les problèmes où intervient la trigonométrie hyperbolique. De plus, il peut être employé dans la résolution des problèmes où interviennent les fonctions circulaires ou hyperboliques de nombres complexes. Et, à ce titre, il est appelé à rendre d'appréciables services dans les divers domaines de la physique qui, en faisant appel aux fonctions trigonométriques de nombres complexes bénéficient de simplifications remarquables (mécanique vibratoire, électrotechnique, radiotechnique, etc.).

Ainsi pourra paraître justifiée la dénomination d'abaque universel que nous avons pensé pouvoir donner à ce nomogramme, en dépit du caractère toujours quelque peu prétentieux de cette épithète.

Lucien Abélès,
Ingénieur radioélectricien
A. et M. et E. S. E.

Revues, analyses et informations

La tension mécanique maximum admissible pour les câbles d'aluminium-acier (1).

1. Introduction. — En raison de leur grande résistance mécanique et de leur plus faible prix, les câbles d'aluminium à âme d'acier sont très souvent préférés, pour la construction des lignes électriques, aux câbles en cuivre de résistance équivalente.

Cependant, on peut craindre que souvent, ces câbles ne soient pas utilisés dans les meilleures conditions, par suite de l'incertitude qui règne sur la valeur maximum de la tension qui peut être acceptée pour ce type de conducteur. Les auteurs ont essayé de lever cette incertitude en procédant à des séries d'expériences soigneusement préparées et ils ont obtenu des résultats qui paraissent en concordance avec la théorie.

2. Répartition des efforts dans les deux métaux d'un cable aluminium-acier. — La distribution des efforts dans un câble mixte composé de métaux dont les caractéristiques mécaniques sont aussi différentes nécessite, en effet, une étude toute particulière, l'acier et l'aluminium jouant, dans le cas qui nous occupe, un rôle tout à fait différent.

Il convient à ce propos de faire remarquer que les formules données antérieurement pour le calcul de la tension maximum admissible pour ces câbles mixtes ne tiennent pas suffisamment compte d'un phénomène particulier caractérisé par le fait que les deux métaux ne restent pas exactement dans leur position respective initiale tout le long de leur surface de contact. Cet effet est surtout fonction de la longueur du câble et des caractéristiques des métaux qui la composent; mais il varie aussi avec d'autres facteurs. C'est ainsi que la différence de longueur des torons d'aluminium (placés à l'extérieur) et d'acier (au centre), et leur différence de contraction suivant le diamètre, lorsqu'ils sont soumis à un même effort, concourent à la production de contraintes supplémentaires qui ont pour effet de produire un glissement de l'un des métaux par rapport à l'autre. Pratiquement, l'aluminium tend à prendre un certain « mou » que l'on peut déceler par des mesures du diamètre extérieur du câble. Ce mou dépend principalement de la différence de dureté des deux métaux constitutifs du câble; il dépend aussi, dans une certaine mesure, du procédé employé pour la fabrication même du câble.

Si ce dernier est soumis à un effort de traction croissant, il s'allonge d'abord en proportion inverse du module d'élasticité de l'acier; car au début l'aluminium cède simplement ce « mou » et se prête à l'allongement de l'acier sans supporter aucun effort de tension. En d'autres termes, le câble revient d'abord à son diamètre extérieur normal, l'acier seul supportant l'effort de traction. A partir de ce moment, l'aluminium intervient à son tour pour résister mécaniquement et l'allongement devient inversement proportionnel au module d'élasticité du câble considéré comme un tout, jusqu'à ce que l'effort de traction dépassant la limite d'élasticité du câble, celui-ci se rompe.

De nombreuses expériences ont montré que l'allongement de l'acier, pendant l'inaction de l'aluminium, était de l'ordre de 1 pour 1000.

(1) Fumio Shida et Joji Kameyama. *The Journal of the Institute of electrical Engineers of Japan*, mai-juin 1929, numéro supplémentaire, p. 67-71, 850 mots, 2 figures.

3. Equations fondamentales d'un cable mixte. — Désignons par P_{al}, P_a et P_c les tensions par unité de surface de la section de l'aluminium, de l'acier et du câble mixte; par E_{al}, E_a, E_c les modules d'élasticité correspondants, a_{al}, a_a, a_c les coefficients de dilatation linéaire et h_{al}, h_l les rapports de la section des torons d'aluminium et d'acier à la section totale du câble. Les équations fondamentales du câble mixte sont alors

$$P_c = P_{al} h_{al} + P_a h_a,$$

$$E_c = E_{al} h_{al} + E_a h_a,$$

$$a_c = \frac{E_{al} h_{al}}{E_c} a_{al} + \frac{E_a h_a}{E_c} a_a.$$

Supposons qu'une portion d'un tel câble soit fixée rigidement par ses extrémités à deux supports, la tension étant P_c à la température normale. Un accroissement de température tend à produire un allongement de l'aluminium plus grand que celui de l'acier, car le coefficient de dilatation de ce dernier métal est plus faible. Le résultat de ce fait est de produire une compression de l'aluminium et d'augmenter la tension de l'acier jusqu'à ce qu'une position d'équilibre soit atteinte. Cet état est d'ailleurs indépendant de la tension produite par la charge propre du câble.

Si l'on désigne par P' les nouvelles tensions, l'allongement du câble par unité de longueur, pour une augmentation de la température égale à t en degrés centésimaux, est alors

$$a_c t + \frac{P_c}{E_c} = a_a t + \frac{P'_a}{E_a} + \frac{P_a}{E_a}$$

$$= a_{al} t - \frac{P'_a}{E_{al}} + \frac{P_{al}}{E_{al}};$$

d'où :

$$P_{al} - P'_{al} = \frac{P_c}{E_c} E_{al} - (a_{al} - a_a) \frac{E_{al} E_a}{E_c} h_a t.$$

Comme le premier terme représente la tension actuelle de l'aluminium, nous pouvons écrire $p_{al} = P_{al} - P'_{al}$ et l'on tire de l'équation précédente

$$P_c = \frac{p_{al}}{E_{al}} E_c + (a_{al} - a_a) E_a h_a t.$$

C'est là l'équation générale donnant l'effort de tension d'un câble aérien en aluminium à âme d'acier durant les changements de température. En faisant entrer dans le facteur p_{al} la valeur de la limite d'élasticité de l'aluminium, on obtient une équation qui donne la tension maximum admissible.

En réalité, cette équation s'appliquerait plutôt à un faisceau de fils parallèles et non au câble toronné pour lequel intervient le phénomène dont il a été parlé ci-dessus.

D'après les courbes donnant les tensions en fonction des efforts de traction, d'une part pour un faisceau de fils parallèles d'acier et d'aluminium parallèles (fig. 1) et, d'autre part, pour un câble en fils toronnés d'acier et d'aluminium (fig. 2), les auteurs estiment que la tension maximum admissible pour le câble est donnée avec exactitude par la formule

$$P_c = 0{,}001\, E_a h_a + \frac{p_{al}}{E_{al}} E_c + (a_{al} - a_a) E_a h_a t.$$

Le premier terme du second membre présente un intérêt particulier pour le constructeur qui peut agir ainsi dans une certaine mesure sur la valeur de P_c en étudiant les meilleures longueurs à donner aux fils d'acier et d'aluminium, etc.

Avec une installation convenable, la tension d'un câble mixte de ce type peut être mesurée avec assez de précision.

Les auteurs estiment que les câbles d'aluminium-acier doivent supporter un effort de tension plus grand ou au

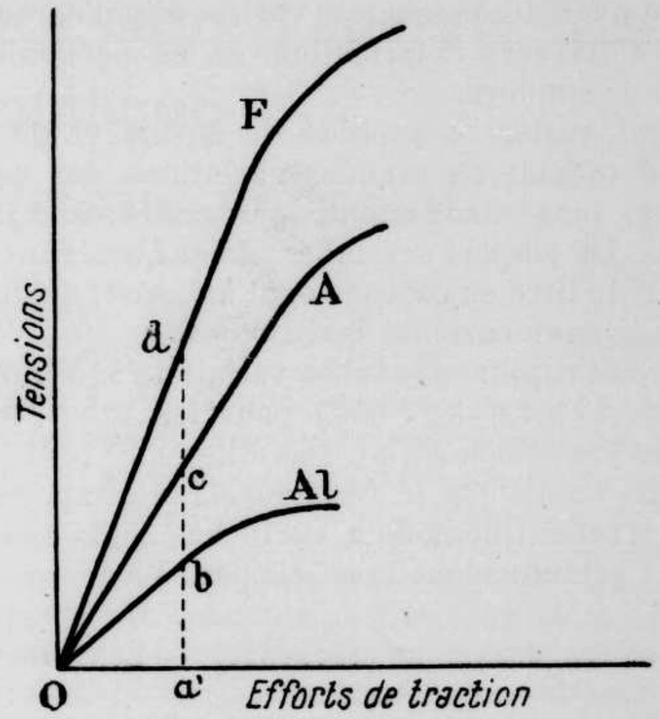


Fig. 1. — Courbes de la tension en fonction des efforts de traction dans le cas d'un faisceau de fils d'acier et d'aluminium parallèles : Al, fils d'aluminium; A, fils d'acier; F, faisceau de fils.

moins égal à 90 pour 100 de la somme des produits des sections totales respectives de l'acier et de l'aluminium par la tension admissible pour chacun de ces métaux.

Ils ont proposé, par ailleurs, que le facteur de sécurité adopté par l'Administration de leur pays pour les câbles

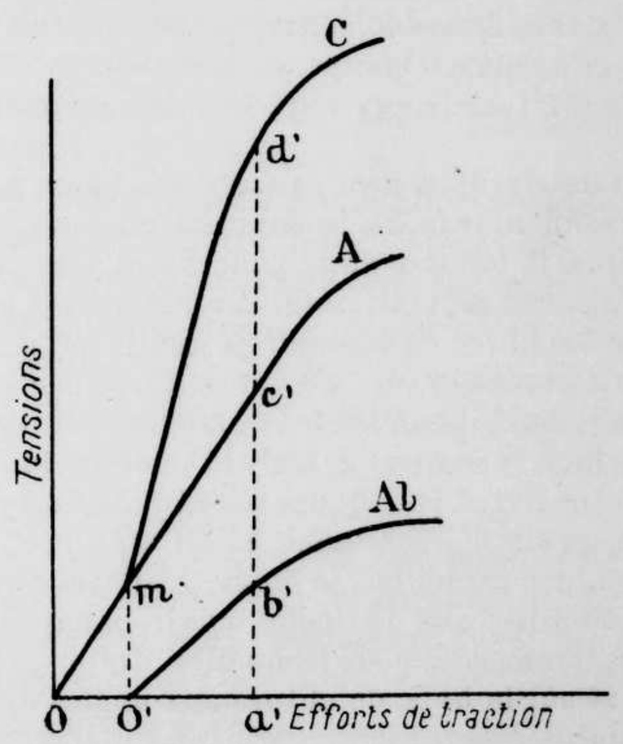


Fig. 2. — Courbes de la tension en fonction des efforts de traction dans le cas d'un câble en fils d'acier et d'aluminium toronnés suivant la méthode courante : Al, fils d'aluminium; A, fils d'acier; C, câble aluminium-acier.

d'aluminium-acier employés dans les lignes aériennes de transmission d'énergie, soit 2,5 fois celui des câbles en cuivre dur utilisés dans le même but. — B. E.

Propriétés physiques des tubes d'acier soudés électriquement (1).

1. Généralités. — Ce travail a été entrepris dans le but de déterminer les propriétés physiques de tubes obtenus à partir de feuilles d'acier, soudées électriquement suivant une génératrice.

Le diamètre extérieur des tubes était compris entre 5/8 d'inch (1,58 cm) et 3 inches (7,62 cm) et l'épaisseur des parois variait de 0,028 à 0,120 inch (0,071 à 0,305 cm); ils ont été soumis à des essais très variés, afin d'éprouver leur résistance à diverses déformations et, en particulier, celle de la ligne de soudure.

En faisant varier le procédé de façonnage du métal à froid, on a obtenu de grandes variations des propriétés mécaniques, sans changement appréciable dans la teneur en carbone. La plupart des tubes étaient constitués par de l'acier doux de titre en carbone égal à 0,0008; quelques-uns avaient un titre en carbone égal à 0,0025.

La charge de rupture des tubes variait de 54000 livres par square inch (3801,6 kg : cm²) pour les tubes soudés, à 74000 livres par square inch (5209,6 kg : cm²) pour les tubes laminés dur, tandis que la résistance à la compression suivant l'axe d'échantillons de 2 1/2 inches (6,35 cm) de longueur était pratiquement la même pour tous.

2. Nature des essais et résultats. — Les tubes soudés électriquement furent soumis aux essais suivants : 1° Essai hydro-statique ; 2° Résistance à la rupture ; 3° Essai de torsion ; 4° Essai d'écrasement axial.

Dans l'essai hydrostatique, et en exceptant les tubes recuits, un échantillon sur trente céda suivant la ligne de soudure. Un seul des six échantillons recuits céda en dehors de la ligne de soudure, ce qui montre que le recuit diminue la résistance à la rupture de la soudure d'environ un dixième au-dessous de celle du métal de base (métal non affecté par l'opération de soudure).

Dans les essais de traction suivant l'axe des tubes de 2 inches (5,04 cm), on a atteint la charge limite de rupture sans que la soudure cède, excepté dans le cas des tubes recuits. La résistance à la rupture de la soudure des échantillons recuits était égale environ à 0,93 fois celle du métal de base.

Dans les essais de torsion, aucun des tubes ne présenta de fracture au niveau de la soudure ou dans le reste du métal lorsque la torsion était poursuivie jusqu'à ce que la limite d'élasticité soit atteinte. La résistance au cisaillement dans la fibre extrême, à la limite proportionnelle, était, pour les tubes étirés, de 22610 livres par square inch (1591,74 kg : cm²), pour les tubes laminés de 22190 livres par square inch (1562,17 kg : cm²) et pour les tubes laminés durs de 30310 livres par square inch (2133,82 kg : cm²).

Dans les essais d'écrasement axial, on a constaté que la ligne de soudure présentait la même résistance au pliage et la même ductilité que le métal environnant, à quelques rares exceptions près, pour lesquelles des craquelures se produisirent sur la ligne de suture aux angles externes des plis du métal.

3. Conclusion. — En résumé, à l'exception du tube constitué par du métal étiré recuit, les propriétés du métal de base peuvent être considérées comme caractérisant le tube tout entier, sans qu'il y ait à tenir compte de modifications des propriétés mécaniques du métal au niveau de la ligne de soudure et des couches du métal en contact avec cette dernière. Dans le cas des tubes recuits cependant, la qualité du métal se trouve légèrement inférieure suivant la ligne de soudure. — L. B.

(1) H.-L. Whittemore, J.-S. Adelson et E.-O. Seaquist. *Bureau of Standards Journal of Research*, avril 1930, t. IV, p. 475-500, 6000 mots, 25 figures.

La susceptibilité magnétique du rubidium (1).

1. Anomalies concernant la susceptibilité du rubidium. — La statistique quantique du gaz électron, d'abord proposée par Fermi, a fourni, grâce aux travaux de Sommerfeld, Pauli et autres, de nombreux renseignements intéressants concernant les propriétés électriques et optiques des métaux. En particulier, Pauli a appliqué ces statistiques au calcul de la susceptibilité des métaux alcalins. L'accord entre la théorie et l'expérience dans le cas du sodium, du potassium et du césium est, eu égard à la nature du calcul de Pauli, tout à fait remarquable. Dans le cas du rubidium, il semble se présenter des anomalies; mais une certaine incertitude expérimentale a conduit l'auteur à reprendre les mesures de susceptibilité.

2. Nouvelles mesures. — Le métal étudié a été purifié très soigneusement, par une double distillation dans le vide. Pour mesurer la susceptibilité, on a employé la méthode de Gouy : un long cylindre du métal est suspendu entre les pôles d'un électroaimant, et l'axe du cylindre est perpendiculaire aux lignes de force du champ créé par l'électroaimant. L'action exercée dans ces conditions sur le cylindre est donnée par

$$f = \frac{1}{2} x A d (H_1^2 - H_0^2),$$

où f est la force, exprimée en dynes ; x, la susceptibilité massique ; A, l'aire de la section droite du cylindre en centimètres carrés ; d la masse spécifique du métal, en grammes par centimètre cube ; H_1, l'intensité du champ, en gauss, entre les pôles de l'électroaimant ; H_0, l'intensité du champ à l'extérieur du cylindre. La force f était mesurée au moyen d'une balance sensible au cinquantième de milligramme. Le champ magnétique était produit par un grand électroaimant de Weiss, à refroidissement par l'eau. Des essais préalables étaient exécutés sur le tube de verre destiné à contenir le métal, de façon à pouvoir éliminer l'action du champ sur ce tube. Le champ magnétique était mesuré au moyen d'une méthode de zéro. Dans ces mesures, la valeur de H_0^2 se montra négligeable par rapport à celle de H_1^2.

3. Résultats. — L'auteur a ainsi mesuré la susceptibilité du rubidium pour neuf intensités de champ différentes, comprises entre 9000 et 25 000 gauss. Il n'a pas observé dans ce domaine de variations de susceptibilité supérieures à 2 centièmes, l'erreur relative des mesures étant comprise entre 2 et 3 centièmes. La constance de la susceptibilité indique donc l'absence d'impuretés ferromagnétiques. La valeur moyenne de la susceptibilité massique est égale à $0{,}22 \times 10^{-6}$, à 20° C, la valeur théorique de Pauli étant $0{,}32 \times 10^{-6}$. Ce résultat est voisin de celui de Mc Lennan, Ruedy et Cohen. On voit donc qu'il existe une grande différence entre la valeur expérimentale et la valeur calculée. Par conséquent, le rubidium semble bien se comporter d'une façon anormale. — L. B.

(1) C.-T. Lane. *The physical Review*, 15 avril 1930, t. XXXV (2° série), p. 977-981, 1500 mots, 1 figure.

SECTION INDUSTRIELLE

Quelques remarques sur la concurrence entre l'énergie thermique et l'énergie hydraulique et sur la fourniture de l'énergie de pointe

Reconnaissant, dès le début de son article, la complexité du problème que soulève la comparaison des prix de revient de l'énergie électrique produite par une usine hydraulique et de celle engendrée dans une usine thermique, l'auteur fait ressortir la nécessité de préciser dans chaque cas particulier les conditions du problème pour pouvoir donner à la solution une forme simple et aussi générale que possible, mais ne s'appliquant qu'au cas défini. Il considère d'abord successivement l'usine thermique, l'usine hydroélectrique, sans accumulateur et avec accumulateur, et établit des formules permettant d'évaluer le prix de revient en tenant compte des divers facteurs qui interviennent dans chacun des cas considérés. Suit une utile documentation sur les valeurs numériques attribuées à ces facteurs par divers auteurs, documentation empruntée à des résultats d'exploitation publiés tant en France qu'à l'étranger. Considérant le problème de la marche en parallèle de plusieurs usines génératrices thermiques et hydrauliques, l'auteur compare entre elles quelques solutions qui peuvent être envisagées ; des exemples traités se dégage le principe de la méthode à suivre dans des études de ce genre.

I. **Introduction**. — Le problème que présente la marche en parallèle des usines génératrices thermiques et des usines génératrices hydrauliques au point de vue économique, problème qui a été maintes fois traité et discuté depuis longtemps, paraît avoir acquis, dans ces dernières années, une signification plus vaste et plus complexe par suite de la nécessité qui s'accentue d'une manière croissante de le traiter simultanément avec celui des pointes de charge annuelles et journalières d'un réseau de distribution, et de coordonner sa solution avec celles qui peuvent être obtenues, concurremment ou conjointement, par les autres moyens de fourniture de l'énergie de pointe.

Une simple comparaison du prix de revient moyen de l'énergie, par kilowatt-heure, produite par l'usine génératrice thermique avec celle produite par l'usine hydroélectrique, tous les deux comptés à l'endroit de l'utilisation, — comparaison qui constitue, pour ainsi dire, la solution de premier degré du problème, — ne peut résoudre les questions qui se posent dans la pratique ; une discrimination à effectuer entre l'énergie de base et l'énergie de pointe est indispensable et encore celle-ci ne correspond pas complètement à la vérité, car il faudrait examiner séparément les conditions de marche de chaque unité d'une usine thermique pour déterminer d'avance le prix de revient le plus probable de l'énergie produite.

Si l'on veut, d'autre part, arriver à des résultats plus concluants que ceux auxquels conduisent de simples considérations théoriques et générales, il faut introduire dans les différentes équations, les facteurs numériques tels que le prix de la puissance installée rapporté à 1 kw, le prix du combustible, le rendement thermique, etc... qui, naturellement, varient énormément d'un cas à l'autre. C'est pourquoi on se trouve bien dans l'impossibilité de résoudre d'une façon nette les différentes questions du problème ; la solution intermédiaire, consistant dans l'établissement des équations générales qui permettent, dès que les facteurs numériques sont connus, une application directe, ainsi que dans l'établissement des graphiques indiquant simplement les limites des valeurs variables, apparaît donc comme la plus judicieuse.

En ce qui concerne plus particulièrement la question des pointes journalières des grandes agglomérations urbaines, il est facile d'examiner les différentes solutions et d'établir une comparaison générale entre elles au point de vue économique, à condition que l'on se contente également, de prévoir dans les calculs des marges suffisantes dans lesquelles puissent rentrer les cas qui se présentent dans la pratique.

Ne voulant pas développer des équations pour ces nombreux cas, nous nous bornerons à en indiquer quelques-unes des plus caractéristiques, les quelques exemples numériques ne devant être considérés que strictement limités à ces conditions particulières bien définies. Cette étude est donc abrégée et susceptible d'être approfondie en beaucoup de points. La question de la répartition la plus économique de l'énergie réactive entre deux usines travaillant en parallèle, qui, à la rigueur, devrait être traitée en même temps, n'est pas prise en considération ici ; il en est de même des questions secondaires, telles que, par exemple, l'utilisation de l'énergie disponible des installations industrielles,

l'emploi des moteurs à combustion interne, la marche en parallèle d'un plus grand nombre d'usines génératrices, etc. Pour simplifier, l'examen sera limité aux sources d'énergie hydraulique possédant une période estivale d'étiage et pourvues ou non d'un réservoir journalier. Les sources d'énergie hydraulique avec réservoirs annuels, celles possédant une autre courbe caractéristique du débit, etc., peuvent assez facillement être traitées d'une façon semblable à celle que nous utiliserons.

II. **Représentation monotone à trois dimensions du fonctionnement d'une usine génératrice.** — La courbe de charge journalière en kilowatts qui, pour une journée d'hiver, par exemple, possède la forme 1 (fig. 1) bien connue, se transforme, si on effectue le groupement nécessaire sur l'axe des abscisses,

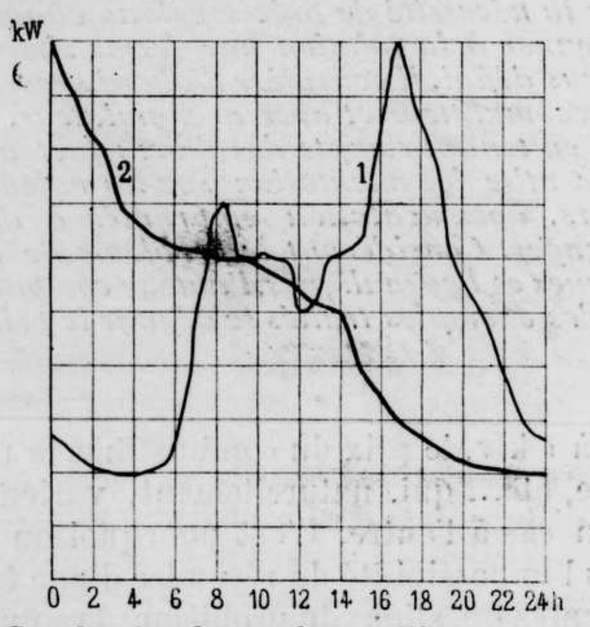


Fig. 1. — Courbe de charge journalière (1) et courbe de charge monotone (2) d'un réseau urbain pour une journée d'hiver.

en courbe de charge monotone 2. Si on effectue cette transformation sur toutes les courbes journalières de l'année, et si on regroupe les journées de l'année suivant l'importance de la pointe journalière, on obtient, sauf quelques irrégularités dues à ce que la progression des pointes ne correspond pas toujours à celle des valeurs moyennes et basses de la courbe monotone journalière et que nous voulons négliger, une image monotone à trois dimensions représentée par la figure 2, ou, sous une forme schématique, par la figure 3, où l'influence des dimanches et jours de fêtes a été négligée.

Dans quelques cas qui nécessiteraient une description assez longue, cette image fournit un moyen de s'exprimer plus suggestif que la description et la représention ordinaires.

III. **Prix de revient rapporté à un kilowatt-heure de l'énergie thermique de base et de pointe.** — Soient :

p le prix de premier établissement rapporté à 1 kw de la puissance installée en francs par kilowatt ;

t le taux représentant la somme des dépenses fixes annuelles (intérêt, amortissement, impôts et taxes, entretien, salaires et toutes les autres dépenses fixes) :

H le nombre d'heures d'utilisation par rapport à la puissance maximum fournie (pointe de charge) ;

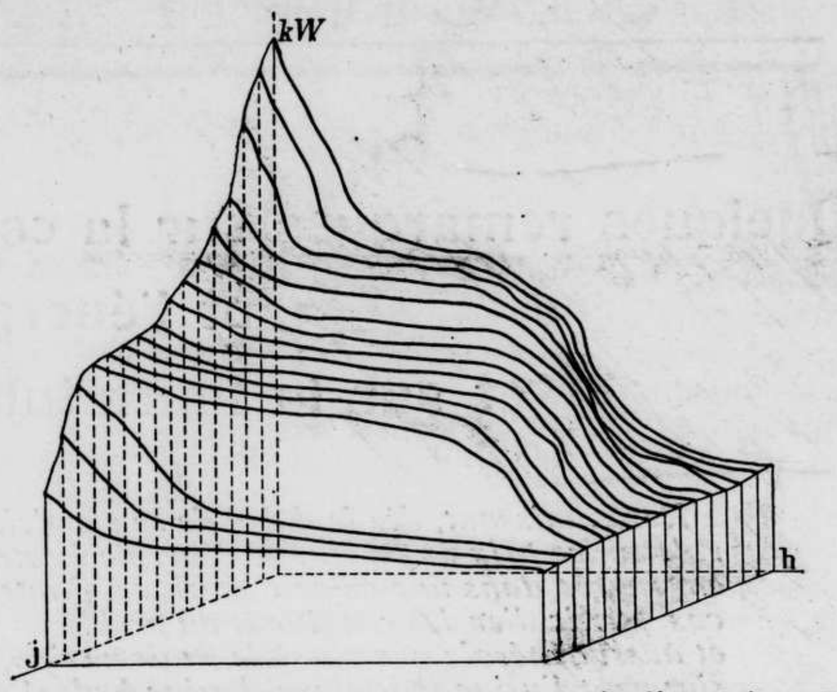


Fig. 2. — Représentation monotone à trois dimensions du fonctionnement annuel d'une usine alimentant un réseau urbain.

H' le nombre d'heures d'utilisation par rapport à la puissance installée ;

x le facteur exprimant la réserve de l'usine soit $x = \frac{H}{H'} - 1$;

k le prix de 860 calories contenues dans le combustible, en francs ;

η le rendement global thermique de l'usine.

Nous utiliserons l'indice t s'il s'agit d'une usine génératrice thermique et l'indice h s'il s'agit d'une usine hydroélectrique, ainsi que les indices supplémentaires

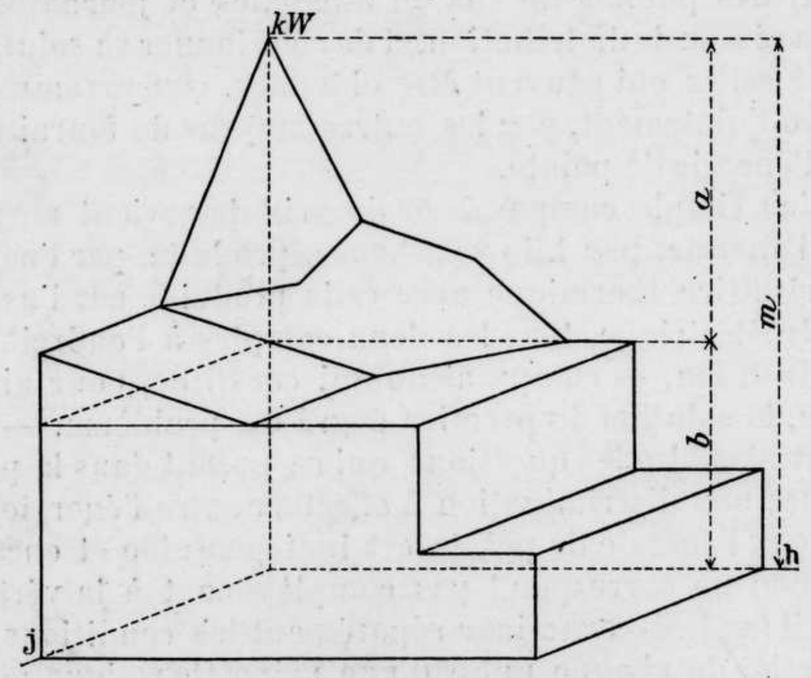


Fig. 3. — Représentation monotone à trois dimensions simplifiée.

b et a si, pour une usine thermique, une différence doit être établie entre l'énergie de base b et l'énergie de pointe a. Nous pouvons donc écrire, pour le prix de revient P_t, par kilowatt-heure, de l'énergie produite

par l'usine thermique ayant une puissance maximum m en kilowatts et un nombre d'heures d'utilisation H_m, l'équation bien connue

$$P_t = \frac{(1+x_t)mp_t t_t}{mH_m} + \frac{k}{\eta_t} = \frac{(1+x_t)p_t t_t}{H_m} + \frac{k}{\eta_t} = \frac{p_t t_t}{H'_m} + \frac{k}{\eta_t}. \qquad (1)$$

La division de la charge totale m (fig. 3) à effectuer pour obtenir une charge de pointe a et une charge de base b, semble assez arbitraire si on voulait obtenir une limite exacte entre les deux. Mais sur l'image simplifiée de la figure 3, c'est évidemmeut la charge désignée par b que nous appellerons charge de base, bien qu'en vérité b ne soit pas constant et varie suivant les périodes de l'année. La détermination du prix moyen de revient d'un kilowatt-heure pourrait naturellement être effectuée avec une approximation plus grande si on connaissait le nombre de chaudières et de générateurs, leurs courbes de charge, leurs rendements aux faibles charges, etc. Mais ce calcul, donné par exemple par van Heys (1), nécessite la supposition d'un cas concret et ne peut fournir de résultats généraux. En appliquant la division classique en charge de base et charge de pointe, il faut naturellement, introduire avec plus de marge les valeurs numériques dans les équations obtenues. Avec les facteurs désignés comme il a été indiqué ci-dessus, nous avons, pour le prix de revient de la base

$$P_{tb} = \frac{(1+x_{tb})\,p_{tb}t_{tb}}{H_b} + \frac{k}{\eta_{tb}} = \frac{p_{tb}t_{tb}}{H'_b} + \frac{k}{\eta_{tb}}, \qquad (2)$$

et pour le prix de revient de la pointe, en posant $x_{ta} = 0$,

$$P_{ta} = \frac{(1+x_{ta})\,p_{ta}t_{ta}}{H_a} + \frac{k}{\eta_{ta}} = \frac{p_{ta}t_{ta}}{H'_a} + \frac{k}{\eta_{ta}}. \qquad (3)$$

IV. **Prix de revient rapporté à un kilowatt-heure de l'énergie hydraulique.** — La puissance journalière, en kilowatts, d'une source d'énergie hydraulique ayant la période d'étiage en été, donne, après un regroupement des journées de l'année identique à celui qui fut effectué pour l'usine thermique suivant sa courbe de charge et en négligeant les dimanches et jours de fêtes, une image de la forme 1 indiquée sur la figure 4. Cette représentation n'est pas monotone, car le maximum n d'hiver tombe ordinairement dans les mois de novembre ou de janvier, tandis que le maximum de la charge d'une usine thermique se produit, dans une agglomération urbaine — cas que nous envisageons particulièrement — le 22 ou le 23 décembre invariablement.

L'usine hydroélectrique dont la puissance est c en kilowatts ($c < n$) et qui ne possède aucun réservoir journalier, pourra donc fournir son énergie d'après l'image 2 de la figure 4. Munie d'un réservoir journalier suffisant, elle pourra la fournir suivant l'image 3,

(1) Van Heys. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 25 avril 1929, t. L, p. 593-597 ; résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 20 juillet 1929, t. XXVI, p. 20D-21D.

par exemple, où on a $h\,c = 24\,d$, mais on pourra, théoriquement, pendant la période q, faire passer de toute autre façon l'eau disponible par les turbines pour obtenir une image plus compliquée.

Le prix de revient rapporté à 1 kw-h de l'énergie produite par l'usine hydroélectrique sans ou avec réser-

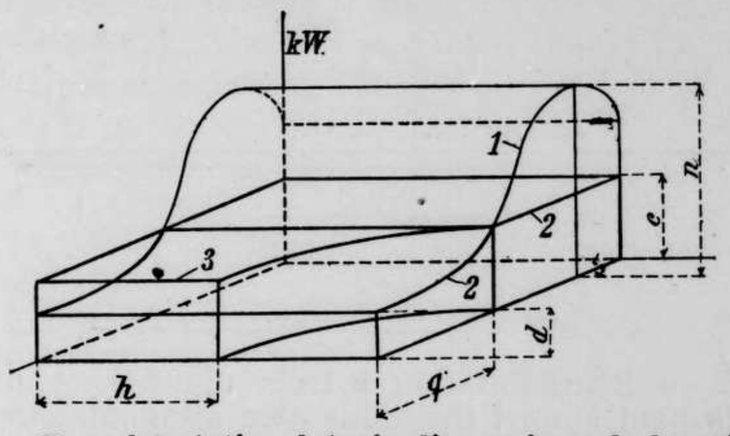


Fig. 4. — Représentation à trois dimensions de la puissance disponible : 1, d'une source d'énergie hydraulique ; 2, d'une usine hydroélectrique sans réserve journalière ; 3, d'une usine hydroélectrique avec réserve journalière.

voir journalier, dont nous désignons par s les frais variables, dont la puissance est c en kilowatts, et le nombre d'heures d'utilisation H_c, est donné par

$$P_h = \frac{(1+x_h)\,p_h t_h}{H_c} + s = \frac{p_h t_h}{H'_c} + s. \qquad (4)$$

Le prix de premier établissement d'une ligne de transmission d'énergie étant π en francs par kilowatt et par kilomètre, celui d'un poste de transformation étant de P_1 en franc par kilowatt, les taux des dépenses fixes étant de t'_1 pour la ligne et de t''_1 pour les postes de transformation, on a, pour le prix de revient d'un kilowatt-heure, l'énergie étant d'origine hydraulique et transmise à la distance de l en kilomètres, avec le rendement η_l

$$P'_h = \frac{(1+x_h)\,(p_h t_h + \pi l t'_1 + 2p_1 t''_1)}{\eta_l H_c} + \frac{s}{\eta_l}$$

$$= \frac{p_h t_h + \pi l t'_1 + 2p_1 t''_1}{\eta_l H'_c} + \frac{s}{\eta_l} \qquad (5)$$

où, pour simplifier, le même coefficient x a été appliqué à l'usine, aux postes et à la ligne.

V. **Prix de revient rapporté à un kilowatt-heure de l'énergie qui a passé par l'accumulateur.** — L'image la plus simple du fonctionnement annuel d'un accumulateur journalier d'énergie est celle donnée par la figure 5. Si e est la puissance en kilowatts, H_e le nombre d'heures d'utilisation annuelle et η_{ac} le rendement de l'accumulation, il est évident que l'énergie négative correspondant à cette image est égale à

$$\frac{eH_e}{\eta_{ac}}.$$

L'accumulation pouvant s'étendre ordinairement sur plusieurs journées, l'image du fonctionnement sera

pratiquement beaucoup plus compliquée, surtout si l'on admet que l'accumulateur n'est pas pendant certains jours complètement utilisé, ou vidé (fig. 6).

Il est assez difficile d'établir judicieusement le prix de revient de l'énergie accumulée et reprise, après un séjour plus ou moins long dans l'accumulateur, car une incertitude réside dans l'évaluation des frais variables, surtout dans le cas d'un accumulateur de vapeur. Il sera, dans certains cas, plus précis d'établir le prix moyen de l'énergie fournie par l'usine tout entière, l'accumulation comprise, et d'effectuer ensuite la répartition des frais suivant le rapport des énergies fournies directement, d'une part, et par l'accumulateur, d'autre part. Mais d'une façon générale, nous admettons qu'on peut écrire, pour le prix de revient P_{ac} rapporté à 1 kw-h de l'énergie ayant passé par l'accumulateur

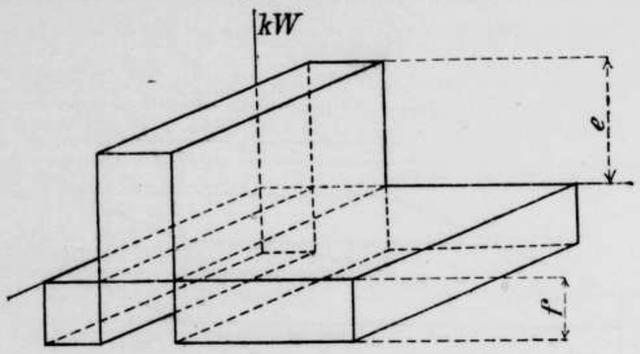


Fig. 5. — Représentation à trois dimensions du fonctionnement annuel théorique d'un accumulateur d'énergie.

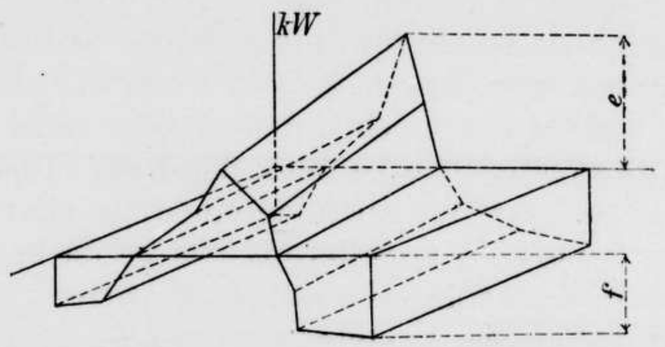


Fig. 6. — Représentation à trois dimensions du fonctionnement annuel pratique d'un accumulateur d'énergie.

$$P_{ac} = \frac{\text{dépenses totales annuelles fixes de l'installation de l'accumulateur}}{\text{production annuelle de l'accumulateur}} + \frac{\text{partie variable du prix de l'énergie fournie à l'accumulateur par kilowatt-heure}}{\text{rendement de l'accumulation}}.$$

En désignant par R les frais de premier établissement, par t_{ac} le taux des dépenses fixes annuelles, et par u la partie variable du prix de l'énergie fournie à l'accumulateur, on a

$$P_{ac} = \frac{R t_{ac}}{e H_e} + \frac{u}{\eta_{ac}}. \qquad (6)$$

Une partie des frais d'installation de l'accumulateur dépendra, dans certains cas, de la puissance maximum e en kilowatts, une autre partie de la capacité V en kilowatts-heures de l'accumulateur. En désignant par p_{ac} les frais en francs rapportés à une puissance de 1 kw, par v les frais rapportés à une énergie emmagasinée de 1 kw-h, par t'_{ac} et t''_{ac} les taux des dépenses fixes annuelles de ces deux parties, l'équation (6) peut s'écrire

$$P_{ac} = \frac{p_{ac} t'_{ac}}{H_e} + \frac{v V t''_{ac}}{e H_e} + \frac{u}{\eta_{ac}}. \qquad (7)$$

Le facteur numérique

$$\chi = \frac{e H_e}{V}$$

peut être désigné comme le nombre de chargements idéal de l'accumulateur ; il devient le nombre de chargements réel dans le cas où l'accumulateur serait vidé complètement à chaque décharge. L'équation (7) peut donc également être mise sous la forme

$$P_{ac} = \frac{p_{ac} t'_{ac}}{H_e} + \frac{v t''_{ac}}{\chi} + \frac{u}{\eta_{ac}}.$$

Dans le cas d'accumulation à distance, l'équation (6) ou (8) est remplacée par les formules suivantes, très compréhensibles : dans le cas où la transmission d'énergie a lieu dans les deux sens on a

$$P'_{ac} = \frac{R t_{ac}}{\eta_l e H_e} + \frac{\pi l t'_1 + 2 p_1 t''_1}{\eta_l H_e} + \frac{u}{\eta_l^2 \eta_{ac}} = \frac{p_{ac} t'_{ac} + \pi l t'_1 + 2 p_1 t''_1}{\eta_l H_e} + \frac{v t''_{ac}}{\eta_l \chi} + \frac{u}{\eta_l^2 \eta_{ac}}. \qquad (9)$$

Dans le cas où la transmission a lieu dans la direction de retour seulement, on a

$$P'_{ac} = \frac{R t_{ac}}{\eta_l e H_e} + \frac{\pi l t'_1 + 2 p_1 t''_1}{\eta_l H_e} + \frac{u}{\eta_l \eta_{ac}} = \frac{p_{ac} t'_{ac} + \pi l t'_1 + 2 p_1 t''_1}{\eta_l H_e} + \frac{v t''_{ac}}{\eta_l \chi} + \frac{u}{\eta_l \eta_{ac}}. \qquad (10)$$

Dans le cas, enfin, où c'est l'énergie à accumuler qui emprunte seulement la ligne de transmission, on a

$$P'_{ac} = \frac{R t_{ac}}{e H_e} + \frac{\frac{f}{e}(\pi l t'_1 + 2 p_1 t''_1)}{H_e} + \frac{u}{\eta_l \eta_{ac}} = \frac{p_{ac} t'_{ac} + \frac{f}{e}(\pi l t'_1 + 2 p_1 t''_1)}{H_e} + \frac{u}{\eta_l \eta_{ac}}, \qquad (11)$$

où f est la puissance maximum négative représentée sur la figure 5 ou 6. On voit que la diminution des frais de transmission peut être, dans ce cas, importante.

VI. Valeurs numériques des facteurs. — Pour que l'évaluation, même approximative, des différents cas exprimés par les équations correspondantes soit possible, il faut introduire dans ces équations les valeurs numériques des différents facteurs tels que p_t, t_t, t_h, etc... Sans entreprendre une analyse détaillée des circonstances particulières de chaque cas, nous indiquons simplement, ci-après, quelques valeurs publiées ou utilisées par plusieurs auteurs (1).

1. — Prix p_t en francs par kilowatt de la puissance installée d'une usine génératrice thermique.

Mercier, Troisième Congrès de la Houille blanche, *R.G.E.*, 1925, t. XVIII, p. 591		700
Werner, E.T.Z., 1927, t. XLVIII, p. 717 et 1 476.	300 marks	1830
Bloch, E.T.Z., 1927, t. XLVIII, p. 527	275 marks	1680
Schultz, E.T.Z., 1927, t. XLVIII, p. 1 067	228-263 marks	1400-1600
Orengo, Congrès de Paris 1928 (Union internationale Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique) Fascicule 1, p. 11 :		
a) Vapeur à 18 kg : cm²		1120
b) Vapeur à 38 kg : cm²		1270
Dalla Verde, ibid., p. 25..	950-1 000 lire	1260-1330
Montara, ibid., p. 65.....	950 lire	1260
Chellis, J.A.I.E.E., 1926, t. XLV, p. 958 (concerne les usines anglaises)....	14,636 liv. st.	1820
J.A.I.E.E., 1928, t. XLVII, p. 827 (Usine de Gould Street à Baltimore, E.U.).	88,26 dollars	2250
Rehmer, E.T.Z., 1928, t. XLIX, p. 73 (concerne les agrandissements des Usines de Berlin)	300 marks	1830
Nisolle, E.T.Z., 1928, t. XLIX, p. 1 678.....	300 marks	1830
Kromer, E.T.Z., 1929, t. L, p. 646 d'après El. World, 1929, t. XC, p. 3 (usines américaines).....	90 dollars	2300
El. World, 1929, t. XCIV, p. 680 :		
a) pour vapeur à 28 kg : cm²	113,85 dollars	2880
b) pour vapeur à 100 kg : cm²	105,31 dollars	2680
Coignet, *R.G.E.*, 1929, t. XXVI, p. 329.....		1500-2000(2)
Marguerre, E.T.Z., 1929, t. L, p. 90.....	250 marks	1525
Van Heys, E.T.Z., 1929, t. L, p. 593.....	200-300 marks	1220-1830
Berdelle, E.T.Z., 1929, t. L, p. 609..	400 marks	2440
Orrok, Engineering, 1930, t. CXXIX, p. 122 (usines américaines).....	100 dollars	2540
Gilli, Chaleur et Industrie, 1930, t. XI, p. 3 :		
a) vapeur de 22 à 37 kg : cm².		1440
b) vapeur de 140 kg : cm².....		1410
Kraus, E.T.Z., 1930, t. LI, p. 525.....	280 marks	1710
Jarrier, La T.M., 1929, t. XXI, p. 353 (Usine Rummelsburg, Allemagne).....	290 marks	1770
Petersen, E.T.Z., 1929, t. L, p. 636 (Usine de Schulau, Allemagne).....	260 marks	1590
Köbler, E.T.Z., 1929, t. L, p. 449.....	300 marks	1830
Münzinger, E.T.Z., 1930, t. LI, p. 985 (grandes usines de pointe).....	200 marks	1220
Schraeder, E.T.Z., 1930, t. LI, p. 1091. Usines hollandaises :		
Merwede (36 kg : cm²)..	255 marks	1550
Schiehaven (12 kg : cm²).	312 marks	1900
Quigley, World Power, 1930, t. XIII, p. 36. Usines anglaises :		
Dalmarnock (Glasgow).	19,3 liv. st.	2400
Barton (Manchester)....	22,2 liv. st.	2760
Portobello (Edinbourgh).	21,5 liv. st.	2680
Hams Hall (Birmingham).....	22,3 liv. st.	2780
Agecroft (Salford).....	15,7 liv. st.	1950
Hartshead.....	11,8 liv. st.	1470

2. — Prix (p_h) en francs par kilowatt de la puissance installée d'une usine génératrice hydroélectrique.

Mercier, *loc. cit.* :		
Usine d'Eguzon.....		1700
Usines de la Truyère...		1300
Usines de la basse Seine.		2500
Usines du Haut-Barbellino (Italie)	2 000 lire	2660
Usines de Berne (Suisse).	755 francs suisses	3720
Usines américaines.....	100-300 dollars	2550-7650
Extrait du « Journal officiel » du 14 mai 1925, *R.G.E.*, 1925, t. XVII, p. 1039 (Usine de Bourélie de 2 170 kw).....		3687
Arbelot, *R.G.E.*, 1926, t. XX, p. 532 (pour usines de base, par kilowatt disponible).....		3250

(1) Les abréviations employées dans les lignes qui suivent pour quelques périodiques sont : *R. G. E., Revue générale de l'Électricité*; *E. T. Z., Elektrotechnische Zeitschrift*; *J. A. I. E. E., Journal of the American Institute of electrical Engineers* ; *J. I. E. E., Journal of the Institution of electrical Engineers*; *El. World, Electrical World*; *La T. M., La Technique moderne*.

(2) Ce prix est rapporté à 1 kv-a.

Becq, Information financière, 1 déc 1927 ; Le Génie civil 1928, t. XCII, p. 209		3000-3500
Wallem, E.T Z., 1927, t. XLVIII, p. 33 (Usine de Shannon, Irlande). Accumulation annuelle		5150
El. World, 1928, t. XCII, p. 733 (Usine de Buchs-Creek aux Etats-Unis, avec accumulation annuelle)		4800
Pacout, Arts et Métiers, 1929, t. LXXXII, p. 102		2500-3000
Coignet, *loc. cit*		2500(1)
Van Heys, *loc. cit*., pour usine de pointe	1000-1500 marks	6190-9150
Plus-value pour usine de pompage	200-250 marks	1220-1525
Maker, El. World, 1929, t. XCIII, p. 90; Usine d'Androscoggin n° 3 de 3000 kw (Etats-Unis)	106 dollars	2700
Orrok, *loc. cit*., (usines américaines)	60-425 dollars	1520-10800
Marchant, Engineering, 1929, t. CXXVIII, p. 183, prix maximum admissible (Angleterre)	80 liv. st.	9900
Huldschiner, E.T.Z., 1929, t. L, p. 226 (usines hydroélectriques au Japon)	700-1500 marks	4270-9150
Kromer, E.T.Z., 1929, t. L, p. 646, d'après El World, 1929, t. XCIII (usines américaines)	200-400 dollars	5080-10160
R.G.E., 1930, t. XXVII, p. 659, d'après E. u. M. Usines hydroélectriques en Roumanie :		
Usines de base (Danube excepté)		2170-3950
Usines d'accumulation annuelle		1570-2750
E. u. M., 1930, t. XLVIII, p. 241. Usine Etzelwerk (Suisse), accumulation annuelle	843 francs	4150

3. — TAUX (t_t) DES DÉPENSES FIXES ANNUELLES D'UNE USINE GÉNÉRATRICE THERMIQUE.

Arbelot, *loc. cit*	0,149
Orengo, *loc. cit*. (amortissement en 10 ans)	0,195–0,20
Van Heys, *loc. cit*	0,12
Orrok, *loc. cit*	0,15
Berdelle, *loc. cit*	0,18
Kraus, *loc. cit*	0,17
Köbler, *loc. cit*	0,16
Kammerer, Bulletin de l'Association des Propriétaires des Appareils à vapeur, 1928 n° 31, p. 29	0,16
Crocker, Power, 1929, t. LXIX, p. 906	0,15

(1) Ce prix est rapporté à 1 kv-a.

Schweitzer, El. World, 1929, t. XCIV, p. 1269.	0,114–0,13
Petersen, E T.Z., 1929, t. L, p. 636	0,15
Schraeder, *loc. cit*. (chiffres déduits)	
Amsterdam	0,226
Merwede	0,293
Schiehaven	0,170

4. — TAUX (t_h) DES DÉPENSES FIXES ANNUELLES D'UNE USINE GÉNÉRATRICE HYDROÉLECTRIQUE.

Arbelot, *loc. cit*	0,151
Mercier, *loc. cit*., (chiffres déduits)	0,13 -0,141
Becq, *loc. cit*	0,13 –0,14
Kraus, *loc. cit*., (pour un lac de pompage).	0,10
Reindl, E.T.Z.. 1929, t. L, p. 460, (Usines suisses de basses chutes)	0,11 -0,13
Usines suisses de hautes chutes	0,085–0,11
Usines hydroélectriques de la Compagnie des Chemins de fer du Midi (valeur approximative déduite des chiffres publiés et concernant les dépenses de premier établissement et les charges annuelles)	0,103

5. — PRIX (π) EN FRANCS PAR KILOWATT ET PAR KILOMÈTRE DE LA LIGNE DE TRANSMISSION D'ÉNERGIE.

Arbelot, *loc. cit*	60 kv et 20 000 kw	2,75
	120 kv et 35 000 kw	2,43
	150 kv et 50 000 kw	2,20
Bloch, *loc. cit*	100 kv et 80 000 kw	3,8
Marchant, *loc. cit*	132 kv et 100 000 kw	2,35

6. — PRIX (p_1) EN FRANCS PAR KILOWATT DE LA PUISSANCE INSTALLÉE D'UN POSTE DE TRANSFORMATION.

Bloch, *loc. cit*	$100/x$ kv	200
Marchant, *loc. cit*	$132/x$ kv et 100 000 kw	93,8
Berdelle, *loc. cit*	30/10 kv	305
Nissel, *loc. cit*	30/6 kv	550

7. — TAUX (t_1) DES DÉPENSES FIXES POUR LA LIGNE (t'_1) ET POUR LES POSTES DE TRANSFORMATION (t''_1).

Arbelot, *loc. cit*	$t'_1 = t''_1 = 0,12 + 8$ fr : km.
Marchant, *loc. cit*	$t_1 = 0,076$
Berdelle, *loc. cit*	$t_1 = 0,12$
Compagnie des Chemins de fer du Midi ; lignes de 150 kv et postes de transformation 150/60 kv	$t_1 = 0,081$

8. — FRAIS VARIABLES (s) EN FRANCS PAR KILOWATT-HEURE D'UNE USINE GÉNÉRATRICE HYDROÉLECTRIQUE.

Mercier, *loc. cit*	0
Arbelot, *loc. cit*	0,016–0,020

9. — PRIX (p_{ac}) EN FRANCS DE L'ACCUMULATEUR POUR UNE PUISSANCE INSTALLÉE D'UN KILOWATT.

Accumulateur électrique	450–600
Accumulateur de vapeur	780–800 (1)

(1) Déduit des chiffres publiés sur la grande installation d'accumulateurs Ruths à Charlottenburg (Allemagne); WELLMANN. *Das kommunale Elektrizitätswerk*, 1930, p. 4.

Accumulateur hydraulique par pompage :
Reichel, E.T.Z., 1927, t. XLVIII, p. 924 (en posant $v = 0$) 1 220-9 150
Van Heys, *loc. cit.*, (en posant $v = 0$) ... 1 200-1 500
Medici, L'Elettricista, 1929, t. XXVIII, p. 103,
R.G.E, 1929, t. XXVI, p. 497 (en posant $v = 0$) 2 400-3 720

10. — PRIX (v) EN FRANCS DE L'ACCUMULATEUR POUR UNE ÉNERGIE ACCUMULÉE D'UN KILOWATT-HEURE.

Accumulateur électrique 610 (1)
Accumulateur de vapeur 140-160 (2)

11. — TAUX (t_{ac}) DES DÉPENSES FIXES ANNUELLES DE L'ACCUMULATEUR.

Accumulateur électrique : (Berdelle, *loc.cit*). 0,18-0,20
Accumulateur hydraulique par pompage (Haas et Kromer, E.T.Z., 1928, t. XLIX, p. 599) 0,10

12. — RENDEMENT (η_{ac}) DE L'ACCUMULATEUR.

Accumulateur électrique :
Le Génie civil (extrait), 1928, t. XCII, p. 73. 0,65
Berdelle, *loc. cit.*, avec commutatrices .. 0,665
Berdelle, *loc. cit.*, avec moteurs-générateurs 0,61
Accumulateur hydraulique par pompage :
Fransen, E.T.Z., 1929, t. L, p. 129 0,675
Amberg, J.A.I.E.E., 1928, t. CXVII, p. 567 (Usine de Rocky-River, Etats-Unis) ... 0,61
Köbler, *loc. cit.* 0,60

VII. **Rendement thermique η_t de l'usine thermique.** — Ce rendement global résulte du rendement des chaudières η_{ch}, du rendement thermique des turbines et du rendement des générateurs, toutes les pertes secondaires et tous les services auxiliaires compris. Pour fixer les limites des valeurs η_t nous citons quelques rendements pratiquement obtenus sans analyser les conditions particulières de la marche de chaque usine et en insistant sur la prudence avec laquelle ils sont à interpréter.

Roszak et Véron, Chaleur et Industrie, 1927, t. VIII, p. 534-641 :
Usine d'Amsterdam (Hollande), 42 kg : cm², 400°C 0,23
Usine de Crawford, Avenue Chicago (Etats-Unis), 43 kg : cm², 400° C 0,222
Usine de Fort Miami (Etats-Unis), 40 kg : cm², 395°C 0,246
Usine de Langerbrugge (Belgique), 56 kg : cm², 450°C 0,22-0,23
Usine de Weymouth (Etats-Unis), 80 kg : cm², 370°C 0,251
Engineering (extrait), 1928, t. CXXVI, p. 675 :
Usine de Barton (Angleterre) 0,2107
Usine de Padiham (Angleterre) 0,2103
Usine de Hinckley (Angleterre) 0,117
Engineering (extrait), 1928, t. CXXV, p. 799, Usine de Trenton-Channel, à Detroit (Etats-Unis), 26 kg : cm², 350°C 0,2307
Münzinger, Engineering, 1928, t. CXXVI, p. 673, Usine de Rummelsburg (Allemagne), 35 kg : cm², 450°C 0,24
Power, 1929, t. LXIX, p. 724. Usine de Richmond-Street, à Philadelphie (Etats-Unis) 0,256
Le Génie civil, 1929, t. XCIV, p. 481. Usine de Lister-Driver n° 3, à Liverpool (Angleterre), 19 kg : cm², 375°C 0,202
Orrok, Engineering, 1930, t. CXIX, p. 299. Usines américaines :
Columbia, 42 kg : cm², 385°C 0,274
Philo, 37 kg : cm², 375°C 0,240
Cahokia, 21 kg : cm², 370°C 0,202
Hell Gate, 18,5 kg : cm², 320°C 0,193
Water Side, 14 kg : cm², 260°C 0,172
Lowin, E.T.Z., 1930, t. LI, p. 386, Usine de Schatura (U.R.R.S.), 16 kg : cm², 375°C 0,176

Si nous examinons, ensuite, les rendements calculés par quelques auteurs et qui représentent, pour la plupart, les rendements maxima susceptibles d'être obtenus pour les pressions, les surchauffes et les cycles supposés, nous trouvons les chiffres suivants :

Ohlmüller, E.T.Z., 1924, t. XLV, p. 385 :
35 kg : cm², 400°C 0,235
100 kg : cm², 400°C 0,25-0,28
Stodola « Turbines à vapeur », 1925 (le rendement de l'alternateur et les auxiliaires non compris) :
50 kg : cm², 470°C 0,251
88 kg : cm², 200°C 0,261
Jarrow, Engineering, 1928, t. CXVI, p. 341, d'après Mellanby et Kerr (le rendement de l'alternateur et les auxiliaires non compris) :
24,6 kg : cm², 354°C 0,225
44 kg : cm², 388°C 0,267
88 kg : cm², 483°C 0,36
Milich et Petersen, E.T.Z., 1929, t. L, p. 633, (rendement global) :
18 kg : cm² 0,21
26 kg : cm², 410°C 0,223
50 kg : cm² 0,239
120 kg : cm², 460°C 0,253
Gilli, *loc. cit.* (rendement global) :
20 kg : cm², 380°C 0,23
32 kg : cm², 400°C 0,24
Rehmer, E.T.Z., 1930, t. LI, p. 485, pour $H = 2\,150$ et pour 28 kg : cm², 415°C 0,194
Van Heys, *loc. cit.*, usine thermique moderne et pour les valeurs de H suivantes :
$H = 8\,760$ 0,205
$H = 2\,200$ 0,132
$H = 510$ 0,123
Kammerer, *loc. cit.* (rendement des chaudières = 0,75 ; pertes dans les auxiliaires = 0,055 à 0,07) :
20 kg : cm², 350°C 0,165
45 kg : cm², 450°C 0,19
100 kg : cm², 450°C 0,205

(1) Déduit des chiffres indiqués par Berdelle, *loc. cit.*
(2) RUTHS, *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1927, t. XLVIII, p. 916.

S'il est assez facile de déterminer pour une installation donnée ou supposée, le rendement maximum qui peut être obtenu pendant sa meilleure utilisation, l'abaissement de ce rendement en service industriel dépend de plusieurs facteurs qui sont difficiles à déterminer. Cet abaissement est provoqué, surtout, par les pertes supplémentaires des chaudières dues aux arrêts, aux changements d'allure et aux diminutions des rendements pendant les périodes de faibles charges. L'influence de ces facteurs s'accentuant, en général, pendant les périodes de faible utilisation, plusieurs formules ont été proposées en vue d'exprimer l'influence qu'exerce sur η_t le nombre d'heures d'utilisation H.

En exprimant par une formule les estimations de M. Orengo (loc. cit.), la diminution du rendement des chaudières η_{ch}, par suite de l'allure intermittente de celles-ci, serait donnée par

$$\eta_{ch} = \frac{\eta_{ch\,max}\, H}{365 + 0{,}958\, H}, \qquad (12)$$

où $\eta_{ch\,max}$ est le rendement maximum des chaudières que l'on suppose pouvoir obtenir pour $H = 8\,760$ h. M. Orrok (loc. cit. p. 122) admet que, pour un exemple choisi et donnant $\eta_{t\,max} = 0{,}24$, la diminution de ce rendement est exprimée par

$$\eta_t = \frac{H}{2\,566 + 3{,}81\, H}. \qquad (13)$$

Mais un examen plus détaillé des pertes supplémentaires par arrêt des chaudières conduit à la conclusion assez évidente que l'abaissement du rendement moyen des chaudières n'est pas directement une fonction du nombre d'heures d'utilisation H, mais plutôt du nombre d'heures d'arrêt pendant les jours de l'utilisation (1). Il n'est donc pas possible, à priori, d'exprimer η_{ch} et parallèlement η_t, en fonction de H, mais il suffit de supposer un certain schéma annuel du groupement des chaudières en marche pour en déduire le nombre d'heures d'arrêt. Ceci admis, le rendement thermique total η_t sera donné par

$$\eta_t = \frac{\eta_{t\,max}}{\left(1 - \frac{z}{\eta'}\right) + \frac{24\,\Sigma t}{\Sigma\Sigma B}\,\frac{z}{\eta'}}, \qquad (14)$$

où z = désigne en centièmes les pertes de chaleur par heure d'arrêt, nombre compris entre 0,05 et 0,07 ; η', le rendement relatif à la restitution pendant les premières heures de marche, de la chaleur perdue pendant l'arrêt, égal à 0,55 à 0,65 ; Σt, la somme des journées de marche des chaudières ; $\Sigma\Sigma B$, la somme des heures de marche des chaudières.

En supposant, par exemple, que le groupement annuel des chaudières d'une installation est celui indiqué sur la figure 7, nous avons :

$$\Sigma t = 3 \times 365 + 1 \times 365 + 3 \times 300 + 2 \times 280 + 3 \times 160 + 2 \times 90 = 3\,580 \text{ journées},$$

$$\Sigma\Sigma B = 3 \times 365 \times 24 + 1 \times 365 \times 18 + 3 \times 300 \times 14 + 2 \times 280 \times 12 + 3 \times 160 \times 4 + 2 \times 90 \times 2 = 54\,350 \text{ heures},$$

ce qui avec $\frac{z}{\eta'} = 0{,}12$ donne d'après la formule (14)

$$\eta_t = \frac{\eta_{t\,max}}{1 - 0{,}12 + \frac{24 \times 3\,580}{54\,350}\,0{,}12} = 0{,}935\,\eta_{t\,max}.$$

Le nombre d'heures d'utilisation des chaudières rapporté à la pointe est, dans ce cas 54 350 : 14 = 3 900 h(1).

Il est à noter que l'abaissement du rendement ainsi

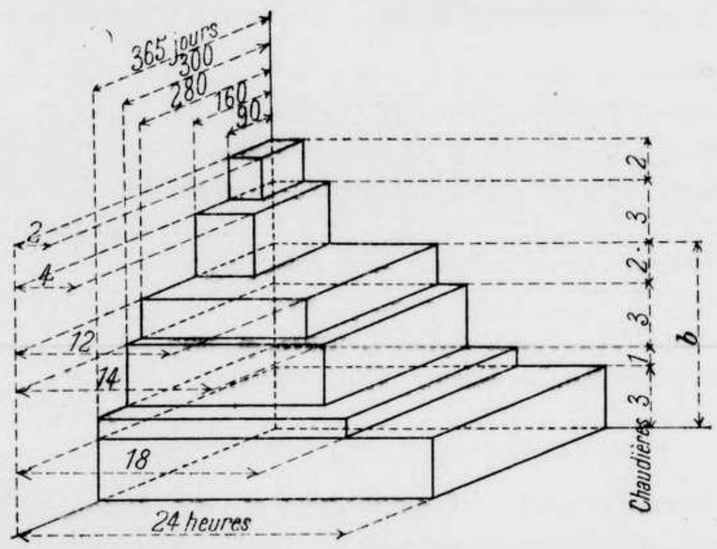


Fig. 7. — Schéma d'un exemple de groupement annuel des chaudières d'une usine thermique (équation 14).

calculé donne le rendement moyen annuel le plus élevé, c'est-à-dire sans aucune perte supplémentaire due aux variations de l'allure des chaudières et des turbines et à l'abaissement du rendement des chaudières et machines aux faibles charges, si toutefois on ne veut pas tenir compte, approximativement, de ces autres pertes en choisissant une valeur plus élevée du quotient $\frac{z}{\eta'}$. Ce ne sont donc que les chaufferies équipées par des appareils de réglages automatiques par exemple, dont le rendement moyen peut s'approcher du rendement η_t calculé suivant la formule (14).

VIII. **Rendement η_{ac} d'un accumulateur de vapeur.** — Le rendement de l'accumulateur η_{ac} tel qu'il a été introduit dans l'équation (6) est, pour un accumulateur de vapeur, assez difficile à exprimer d'une façon générale. Il dépend évidemment de la différence entre le rendement des turbines principales de l'usine et celui des turbines spéciales par lesquelles

(1) Voir aussi : Tröger. *Zeitschrift der Vereines deutscher Ingenieure*, 1927, t. cxxi, p. 1908 et Marguerre, loc. cit.

(1) J. Hak. *Elektrotechnik und Maschinenbau*, 27 juillet 1930, t. iil, p. 709.

passe la vapeur sortie de l'accumulateur. Le rendement thermodynamique de ces turbines spéciales dépend de leur pression d'admission qui varie, comme on sait, de 1,5 à 9 kg : cm² pendant le fonctionnement de l'accumulateur ; il atteint, suivant la charge 0,50 à 0,60 environ (1)(7). Dans une usine dont les turbines principales auraient le rendement thermodynamique de 0,80 par exemple, η_{ac} serait, par conséquent, de 0,625 à 0,75. Dans des installations plus compliquées (soutirage, resurchauffe de vapeur etc.), la valeur de η_{ac} nécessite, naturellement, une détermination spéciale suivant le cas.

IX. **Graphiques comparatifs des prix de revient de l'unité d'énergie thermique et de l'unité d'énergie hydraulique.** — Nous basant sur les valeurs numériques indiquées ci-dessus, nous admettons, pour l'établissement de ces graphiques, les limites suivantes :

p_t = 1 500 à 2 000 fr : kw, p_h = 3 500 à 4 500 fr : kw,

t_t = 0,12 à 0,16, t_h = 0,13 à 0,14,

η_{it} = 0,16 à 0,23, s = 0 à 0,02.

Soit, en outre, k = 0,18 à 0,022, ce qui correspond au prix de 150 à 185 fr de la tonne de charbon de 7 200 calories rendu à l'usine , les frais du transport du parc à charbon à la chambre de combustion ainsi que ceux de la pulvérisation éventuelle étant considérés comme compris dans les auxiliaires. La diminution du rendement thermique η_{it} a été déterminée d'après la formule (14) appliquée à plusieurs cas spéciaux pour lesquels on a supposé un certain nombre d'heures d'utilisation et un certain groupement de chaudières. Les courbes indiquant les limites de la valeur de $\frac{k}{\eta_{it}}$ s'écartent naturellement avec la diminution de H, car, pour une valeur de H donnée, η_{it} peut, suivant le groupement, atteindre des valeurs très différentes.

Les limites donnent

$$p_t t_t = 180 \text{ à } 320 \text{ fr : kw},$$

$$\frac{k}{\eta_{t\max}} = 0{,}123 \text{ à } 0{,}089 \text{ fr : kw-h},$$

$$p_h t_h = 455 \text{ à } 630 \text{ fr : kw},$$

ce qui, à l'aide des équations (1) et (4) permet de construire le graphique de la figure 8, indiquant par l'écartement des points correspondant au nombre d'heures d'utilisation donné, le prix de revient P_t et P_h d'un kilowatt-heure. Ainsi, par exemple, pour H' = 3 500 heures le prix P_t en énergie thermique est donné par les points 1 et 2, la position exacte entre les limites tracées ne pouvant être déterminée qu'après la connaissance plus exacte des facteurs figurant dans l'équation (1). Le prix P_h en énergie hydraulique est, pour H' = 4 800 heures, par exemple, donné par l'écartement des points 3 et 4, conformément à l'équation (4).

L'incertitude résultant des valeurs très variables des facteurs entrant dans les équations (1) et (4) est très grande ; le seul résultat concluant est la constatation

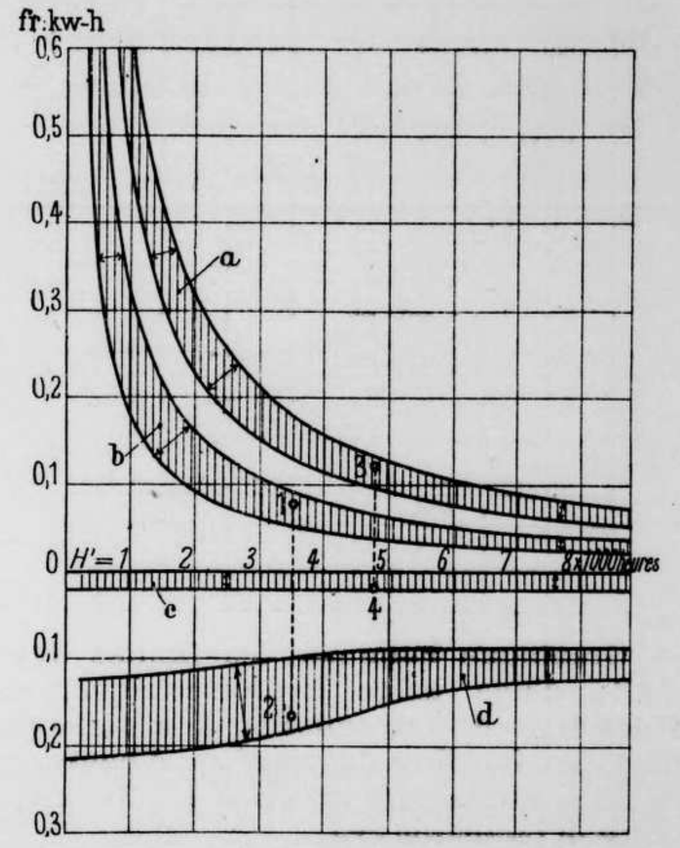


Fig. 8. — Graphique indiquant les limites des prix de revient de l'énergie thermique P_t et de l'énergie hydraulique P_h en fonction du nombre d'heures d'utilisation H et établi en admettant : $p_t t_t$ = 180 à 320 fr : kw ; $p_h t_h$ = 455 à 630 fr : kw ; $\eta_{t\max}$ = 0,16 à 0,23 ; k = 0,018 à 0,022 fr pour 860 calories ; s = 0 à 0,020 fr : kw-h [Equations (1) et (4)].

que la position des usines hydroélectriques est, pour des nombres d'heures d'utilisation faible, plus désavantageuse par rapport aux usines thermiques.

Pour évaluer approximativement l'influence de la transmission, nous admettons, pour les facteurs de l'équation (5), les limites suivantes :

π = 2,3 à 2,5 fr par kilomètre et par kilowatt,

p_l = 150 à 250 fr par kilowatt,

$t'_l = t''_l$ = 0,10 à 0,12,

η_l = 0,88 à 0,92,

ce qui permet de construire, pour différentes longueurs de transmission l, le graphique de la figure 9, indiquant, par les courbes tracées séparément, les limites inférieures et les limites supérieures du prix P'_h qui s'obtient avec les chiffres précédents. Pour l = 500 km et H' = 3300 heures, par exemple, les points 5-6, et 7-8, indiquent, respectivement, P'_h = 0,15 à 0,25 fr : kw-h,

X. **Comparaison de l'énergie thermique de base et de pointe et de l'énergie hydraulique.** — La comparaison entre l'énergie hydraulique sans ou avec réservoir journalier et l'énergie thermique de base ou de pointe, comparaison que l'on peut facilement effectuer à l'aide des équations correspondantes, n'est pas

(1) Föhl. *Archiv für Warmewirtschaft*, 1928, t. IX, p. 243.

toujours concluante, car, dans la plupart des cas, les demandes en énergie de base et en énergie de pointe telles qu'elles ont été définies sur l'image de la figure 3, se complètent mutuellement. Il est

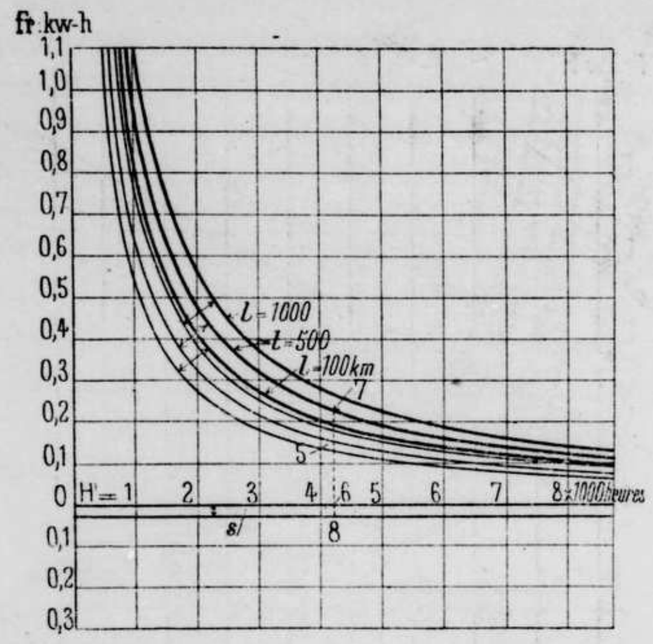


Fig. 9. — Graphique indiquant les limites des prix de revient P'_h d'une usine hydroélectrique, en tenant compte des frais de transmission à la distance de l, en kilomètres, en fonction du nombre d'heures d'utilisation H'. On a admis $p_h t_h = 455$ à 630 fr : kw, $s = 0$ à 0,025 fr : kw-h [Equation (5)].

donc possible de réaliser une combinaison dans laquelle, pendant la période d'hiver, l'énergie hydraulique fournit une partie de la demande de base, tandis qu'elle fournit, pendant la période d'été, une partie ou la totalité de la demande de pointe (1). L'image de fonctionnement correspondant est celle indiquée sur la figure 10. Pendant la période q_1, la marche en paral-

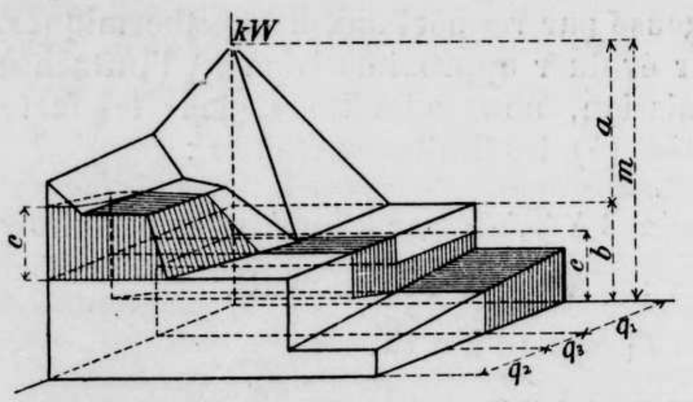


Fig. 10. — Schéma du fonctionnement en parallèle d'une usine thermique de base et de pointe (m) et d'une usine hydroélectrique avec réserve journalière.

lèle s'effectue comme l'indique la figure 11. Soit A l'image monotone annuelle de la demande, B l'image correspondante de l'énergie hydraulique disponible; l'usine hydroélectrique d'une puissance c avec réserve journalière pourra fournir l'énergie suivant un schéma C par exemple. La plus simple combinaison entre une usine thermique et cette usine hydraulique sera celle indiquée par l'image D : l'usine hydroélectrique pourra, en basses eaux, et tant que b'' est inférieur à d, couvrir

(1) Voir par exemple ; F.-A. Allner. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, 1927, t. XLVI, p. 551 ; résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 1927, t. XXII, p. 205 D.

une plus grande partie de la demande qu'il ne le serait pas possible sans la réserve journalière. La combinaison, c'est-à-dire l'adjonction de l'usine hydraulique à l'usine thermique existante sera avantageuse tant que le prix de revient moyen (après la combinaison) sera inférieur au prix de revient primitif de l'usine thermique. Un calcul simple donne, alors, comme condition où η'_t est le

$$P'_h < \frac{k}{\eta'_t} - \frac{b H_b}{c H_c}\left(\frac{k}{\eta'_t} - \frac{k}{\eta_t}\right), \qquad (15)$$

rendement thermique correspondant à la marche en parallèle ; il sera inférieur au rendement η_t de l'usine thermique travaillant indépendamment. La formule (15) exprime donc la condition, que le prix d'un kilowatt-heure fourni par l'usine hydroélectrique et transmis sur le lieu de l'utilisation doit être inférieur à la

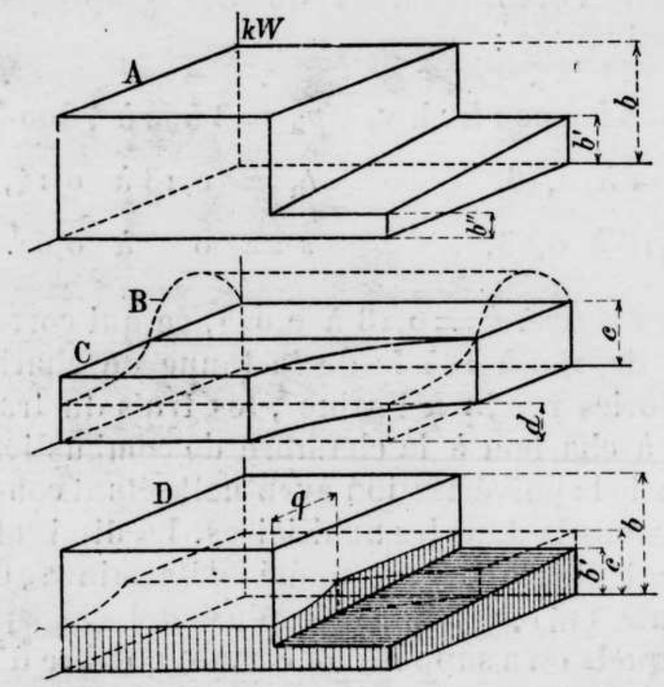


Fig. 11. — Représentation à trois dimensions : A, de l'énergie demandée ; B et C, du fonctionnement d'une usine hydraulique avec réserve journalière ; D, du fonctionnement en parallèle d'une usine thermique de base et d'une usine hydraulique avec réserve journalière.

partie variable du prix d'un kilowatt-heure d'énergie thermique produite après la combinaison, diminuée de la perte qui résulte de la diminution du rendement thermique. Si l'adjonction de l'usine hydraulique permet de réduire la puissance installée d'une usine thermique nouvelle ou de sursoir à un agrandissement d'une usine thermique existante, le second membre de l'inégalité (15) sera majoré du gain ainsi réalisé et la position de l'usine hydraulique sera améliorée.

Pendant la période q_2 la marche en parallèle s'effectue suivant le schéma de la figure 12. Eventuellement, durant une période intermédiaire, q_3, l'application de la marche indiquée par le schéma de la figure 13 donnerait le résultat le plus économique Les équations (15) et (16) prises avec des index correspondants, permettent d'effectuer la comparaison des prix de revient ou pour chaque période séparément, ou pour toute l'année.

XI. **Equation économique de l'accumulateur.** — Considérons le cas où l'énergie produite par l'usine

thermique pendant les périodes h_1 de chaque journée de marche, est emmagasinée dans un accumulateur sur place pour être reprise pendant les périodes de pointe h_2, comme l'indique schématiquement l'image monotone du fonctionnement annuel, reproduite par la

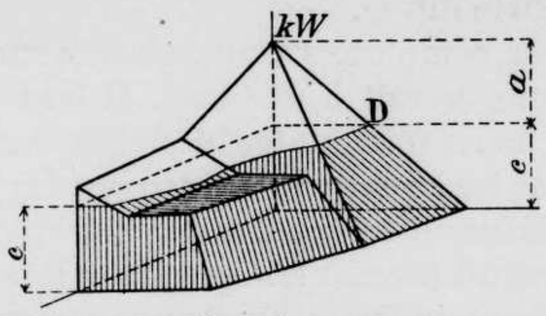


Fig. 12. — Schéma du fonctionnement en parallèle d'une usine thermique de pointe (a) et d'une usine hydroélectrique avec réserve journalière (c).

figure 14. Notons toutefois que l'image monotone que nous employons pour plus de simplicité, ne permet pas de faire représenter tous les facteurs entrant dans l'équation de l'accumulateur d'énergie, surtout en ce qui concerne sa capacité, la possibilité de deux ou de plusieurs décharges par jour, et le nombre d'heures d'utilisation H_e. La courbe donnant la charge effective

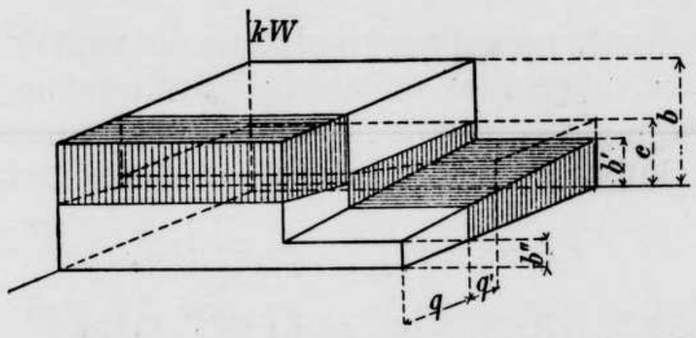


Fig. 13. — Schéma du fonctionnement en parallèle d'une usine thermique de pointe (a) et d'une usine hydroélectrique avec réserve journalière (c).

de la journée (courbe 1 de la figure 1), devra être utilisée pour un examen plus approfondi du fonctionnement de l'accumulateur.

En employant les facteurs déjà introduits au paragraphe V, l'énergie totale brute produite par l'usine peut être exprimée par

$$m H_m - e H_e + \frac{1}{\eta_{ac}} e H_e = m H_m + \left(\frac{1}{\eta_{ac}} - 1\right) e H_e,$$

$m H_m$ étant l'énergie totale nette sortie de l'usine.

Dans le cas où aucune réduction de la puissance installée n'est obtenue par l'installation de l'accumulateur, le prix de revient de la production nette sera, par kilowatt-heure

$$P_m = \frac{m(1+x_t) p_t t_t + R t_{ac}}{m H_m} + \frac{k}{\eta'_t} \frac{m H_m + \left(\frac{1}{\eta_{ac}} - 1\right) e H_e}{m H_m}$$

où η'_t est le rendement thermique global après la combinaison. Le prix de revient d'un kilowatt-heure avant l'adjonction de l'accumulateur est P_t d'après l'équation (1). Pour que l'emploi de l'accumulateur soit avantageux, il faut que $P_m < P_t$ ce qui donne

$$\frac{R t_{ac}}{e H_e} + \frac{1}{\eta_{ac}} \frac{k}{\eta'_t} < \frac{k}{\eta'_t} + \frac{m H_m}{e H_e} \left(\frac{k}{\eta_t} - \frac{k}{\eta'_t}\right). \quad (16)$$

Le premier membre de cette inégalité est le prix de revient P_{ac} d'un kilowatt-heure accumulé et repris, tel qu'il a été défini par l'équation (6). Ce prix doit être inférieur à la partie variable du prix d'un kilowatt-heure fourni sans accumulation et avec le nou-

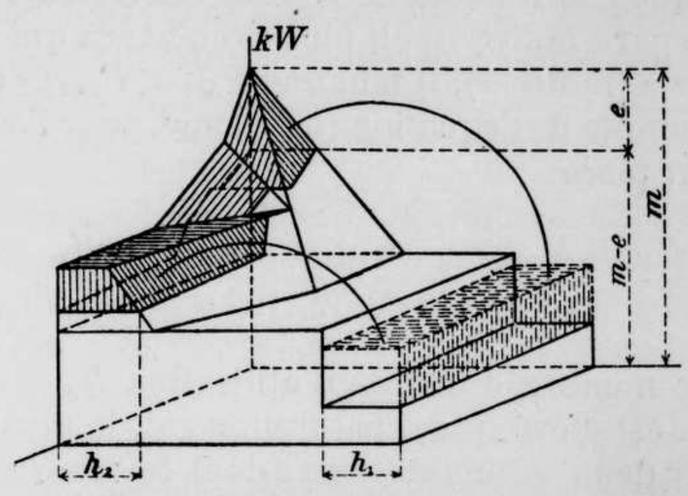


Fig. 14. — Schéma du fonctionnement d'un accumulateur d'énergie (e) travaillant en parallèle avec une usine de base et de pointe ($m - e$); h_1, périodes de charge; h_2, périodes de décharge.

veau rendement η'_t, augmenté du gain qui résulte de l'amélioration de ce rendement porté de η_t à η'_t. Cette condition ne pourra, dans la plupart des cas, être satisfaite.

Mais la position de l'accumulateur s'améliore dans le cas, qui, seul, a de l'importance dans la pratique, où l'installation d'un accumulateur permet de réduire la puissance installée d'une nouvelle usine ou de surseoir à l'agrandissement d'une usine existante. Le prix de revient moyen sera, alors, donné par

$$P_m = \frac{(1+x_t)(m-e) p_t t_t + R t_{ac}}{m H_m} + \frac{k}{\eta'_t} \frac{m H_m + \left(\frac{1}{\eta_{ac}} - 1\right) e H_e}{m H_m},$$

où, pour simplifier, le même coefficient x a été appliqué à l'ensemble de l'usine et à la partie que représente la puissance e en kilowatts. La condition $P_m < P_t$ justifiant l'emploi de l'accumulateur, donne dans ce cas

$$P_{ac} = \frac{R t_{ac}}{e H_e} + \frac{k}{\eta_{ac} \eta'_t} < \frac{k}{\eta'_t} + \frac{m H_m}{e H_e} \left(\frac{k}{\eta_t} - \frac{k}{\eta'_t}\right) + \frac{(1 + x_t) p_t t_t}{H_e}. \quad (17)$$

Par rapport à l'équation (16), le dernier terme à droite de l'équation (17) exprime l'économie due à la diminution de la puissance installée.

Dans le cas d'une accumulation à distance, les équation (16) et (17) restent valables à condition que l'on y remplace le prix de revient d'un kilowatt-heure accu-

mulé P_{ac}, par le prix P'_{ac} qui a été déterminé, suivant le cas, par les équations (9), (10) ou (11).

XII. **Comparaison des divers modes d'accumulation.** — Les inégalités (16) et (17) ne contenant, dans leur second membre, que des valeurs qui restent invariables pour un schéma de fonctionnement donné, on voit que l'on peut utiliser, directement, le prix de revient P_{ac} ou P'_{ac} tel qu'il a été défini au paragraphe V pour effectuer la comparaison de différents modes d'accumulation.

Pour que l'accumulateur 1, dont les facteurs seront désignés par l'indice 1, soit plus avantageux que l'accumulateur 2 (indice 2), il faut que $P_{ac1} < P_{ac2}$ ce qui, en tenant compte de l'équation (6), donne, pour l'accumulation sur place

$$\frac{R_1}{e} < \frac{R_2 t_{ac2}}{e t_{ac1}} + \frac{k}{\eta'_t}\left(\frac{1}{\eta_{ac2}} - \frac{1}{\eta_{ac1}}\right)\frac{H_e}{t_{ac1}}. \qquad (18)$$

Plus le nombre d'heures d'utilisation H_e de l'accumulateur est élevé, plus, naturellement, la position de celui des deux accumulateurs, dont le rendement η_{ac} est plus élevé, est avantageux.

Si nous voulons comparer, par exemple, l'accumulation de l'énergie thermique dans un accumulateur à vapeur (indice 1) avec l'accumulation de la même énergie dans un accumulateur électrique et en supposant que les facteurs correspondants sont pour l'accumulateur à vapeur

$$R_1 = e\left(p_{ac1} + \frac{v H_e}{\chi}\right) = e\left(800 + \frac{150\, H_e}{\chi}\right),$$

$$t_{ac1} = t'_{ac1} = t''_{ac1} = 0{,}18,$$

$$\eta_{ac1} = 0{,}70 ;$$

pour l'accumulateur électrique

$$R_2 = e\left(p_{ac2} + \frac{v H_e}{\chi}\right) = e\left(500 + \frac{300\, H_e}{\chi}\right),$$

$$t_{ac2} = t'_{ac2} = t''_{ac2} = 0{,}22,$$

$$\eta_{ac2} = 0{,}65;$$

pour l'usine génératrice thermique

$$\frac{k}{\eta'_t} = 0{,}09;$$

l'inégalité (18) nous donne

$$800 + \frac{150\, H_e}{\chi} < \left(500 + \frac{300\, H_e}{\chi}\right)\frac{0{,}22}{0{,}18} + 0{,}09\left(\frac{1}{0{,}65} - \frac{1}{0{,}70}\right)\frac{H_e}{0{,}18},$$

ou

$$190 < \left(\frac{217}{\chi} + 0{,}05\right) H_e.$$

Pour $\chi = 100$, ce n'est que pour $H_e < 90$, que l'accumulateur électrique serait plus économique. Tant que les facteurs numériques seront sensiblement ceux que nous avons admis dans cet exemple, l'emploi de l'accumulation de l'énergie de pointe dans les batteries d'accumulateurs sera limité à des pointes très accentuées et de très courte durée.

S'il s'agit de comparer l'accumulation sur place avec celle qui s'effectuerait à distance, il faut utiliser les expressions correspondantes données dans le paragraphe V, par les équations (9), (10) ou (11).

L'accumulateur de vapeur (indice 1) devant être comparé avec un accumulateur hydraulique par pompage à distance (indice 2), nous avons à calculer P_{ac1} d'après l'équation (6) et P'_{ac2} d'après l'équation (9), si toutefois la transmission a lieu dans les deux directions. Si nous voulons déterminer les frais de premier établissement encore admissibles de l'accumulateur hydraulique, nous tirons de $P'_{ac2} < P_{ac1}$, la condition suivante

$$\frac{R_2}{e} < \frac{R_1}{e}\frac{t_{ac1}}{t_{ac2}}\eta_l - \frac{\pi l t'_1 + 2 p_1 t''_1}{t_{ac2}} - \frac{k}{\eta'_t}\left(\frac{1}{\eta_l \eta_{ac2}} - \frac{\eta_l}{\eta_{ac1}}\right)\frac{H_e}{t_{ac2}}. \qquad (19)$$

En admettant, pour l'accumulateur de vapeur et pour l'usine thermique, les mêmes facteurs numériques que dans l'exemple précédent, et en posant, en outre, pour l'accumulateur hydraulique et pour la transmission

$$t_{ac2} = 0{,}10, \quad p_1 = 100,$$
$$\pi = 2{,}3, \quad t''_1 = 0{,}12,$$
$$t'_1 = 0{,}08, \quad \eta_{ac2} = 0{,}62,$$
$$\eta_l = 0{,}90.$$

l'équation (19) devient

$$\frac{R_2}{e} < \left(800 + \frac{150\, H_e}{\chi}\right)\frac{0{,}18}{0{,}10} - \frac{2{,}3\, l \times 0{,}08 + 2 \times 100 \times 0{,}12}{0{,}10} - 0{,}09\left(\frac{1}{0{,}62 \times 0{,}9} - \frac{0{,}90}{0{,}70}\right)\frac{H_e}{0{,}10}$$

ou

$$\frac{R_2}{e} < 1\,200 - 1{,}84\, l + \left(\frac{270}{\chi} - 0{,}45\right) H_e. \qquad (20)$$

Plus la distance de transmission l est grande et plus le nombre idéal de charges χ de l'accumulateur de vapeur est élevé, plus la position de l'accumulateur hydraulique est désavantageuse. Elle s'améliore, par contre, par l'augmentation du nombre d'heures d'utilisation H_e, tant que, toutefois, $\chi < \frac{270}{0{,}45} = 600$. Pour $\chi > 600$, ce qui pourrait théoriquement être obtenu par une double charge et une double décharge de l'accumulateur par jour, le dernier terme de l'équation (20) devient négatif et la position de l'accumulateur hydraulique s'aggrave par suite de toute augmentation de H_e.

Si, pour un certain schéma de fonctionnement, les valeurs de χ et de H_e peuvent être considérées comme connues, l'équation (20) permet de suivre l'influence de la longueur l de la transmission sur la valeur économique de l'accumulateur hydraulique. Ainsi, par exemple, pour $\chi = 200$ et $H_e = 500$ heures, l'équation (20) devient

$$\frac{R_2}{e} < 1\,650 - 1{,}84\,l.$$

Les frais de premier établissement d'un kilowatt installé d'un accumulateur hydraulique par pompage, devraient donc être, pour les distances

$$l = 0,\ 50,\ 100 \quad \text{et} \quad 300 \text{ km},$$

inférieurs à

$$1\,650,\ 1\,560,\ 1\,470 \quad \text{et} \quad 1\,100 \text{ fr : kw},$$

pour que l'accumulateur hydraulique soit plus économique que l'accumulateur de vapeur. L'équation (19) laisse apparaître l'influence des frais de la transmission (deuxième terme à gauche) qui, dans la pratique, limitent l'emploi de l'accumulateur hydraulique par pompage à des cas tout à fait exceptionnels.

XIII. **Comparaison des résultats obtenus avec quelques travaux publiés à ce sujet.** — A l'occasion d'un important projet d'accumulation hydraulique par pompage à distance sur le Schluchsee, en Allemagne, plusieurs travaux ont été publiés sur les possibilités économiques de ce projet.

MM. Haas et Kromer (1) ont déterminé le prix maximum d'un kilowatt installé de l'accumulateur hydraulique par une équation qui, en employant les facteurs introduits dans cet article, peut s'écrire

$$p_{ac} < 2\,680 + 31{,}4\,k\,(1\,000 - H). \qquad (21)$$

Cette équation a été obtenue en supposant que l'accumulateur sur place donnant le rendement $\eta_{ac} = 0{,}60$ environ et alimenté par l'énergie thermique produite par une usine génératrice marchant avec $H = 7\,000$ heures environ, peut être remplacé par une usine thermique indépendante ne produisant que l'énergie de pointe et dont le prix de premier établissement est $p_{ta} = 1\,830$ fr par kilowatt et le taux des dépenses fixes annuelles $t_{ta} = 0{,}16$. En outre, on suppose que les variations du rendement thermique global η_t sont déterminées par la formule

$$\eta_t = \frac{\eta_{t\,max}}{0{,}905 + \dfrac{832}{H}} = \frac{0{,}24}{0{,}905 + \dfrac{832}{H}}. \qquad (22)$$

Il est évident que ces suppositions favorisent trop la position de l'accumulateur par rapport à une usine thermique indépendante, car l'énergie accumulée est produite avec un rendement thermique très élevé, tandis que cette usine de pointe ayant forcément un nombre d'heures d'utilisation très faible, ne donne qu'un rendement thermique peu élevé. Il suffirait d'adjoindre cette usine de pointe à celle qui produit l'énergie à accumuler pour que la position de l'accumulateur soit rendue beaucoup moins avantageuse.

Cette objection a été soulevée par M. Köbler (1) qui, en utilisant la même formule (22) pour déterminer le rendement thermique η_t, mais en faisant produire par la même usine l'énergie à accumuler, d'une part, et l'énergie de pointe d'autre part, arrive à l'équation

$$p_{ac} < 2\,560 - 24{,}4\,k\,(350 + H). \qquad (23)$$

Nous avons insisté sur le fait que la détermination du rendement η_t en fonction du nombre d'heures d'utilisation ne peut être faite directement et qu'il faut, dans chaque cas spécial, utiliser la formule (14) pour évaluer approximativement l'abaissement du rendement par suite de la marche intermittente des chaudières. Cette objection à opposer aux résultats que fournirait l'équation (21) a été également faite par M. Marguerre (2) qui, utilisant l'équation

$$\eta_t = \frac{\eta_{t\,max}}{0{,}905 + \dfrac{832}{h_t}}$$

où h_t est le nombre d'heures d'exploitation de l'installation thermique, arrive à l'inégalité

$$p_{ac} < 2211 + 30{,}2\,kH + \frac{28\,000}{h_t}\,kH - 0{,}155\,uH. \qquad (24)$$

Le prix de premier établissement par kilowatt d'une usine thermique a été, dans ce cas, supposé égal à 1 525 fr. Le facteur h_t est, conformément à ce qui a été dit au paragraphe VII, égal à

$$\frac{24\,\Sigma t}{w},$$

w étant le nombre des unités de l'installation.

Dans cet article, la question traitée par ces auteurs est résolue par l'équation (17) ; on en tire directement

$$\frac{R}{e} < \frac{H_e}{t_{ac}}\left(\frac{k}{\eta'_t} - \frac{k}{\eta'_t \eta_{ac}}\right) + \frac{m}{e}\,\frac{H_m}{t_{ac}}\left(\frac{k}{\eta_t} - \frac{k}{\eta'_t}\right) + \frac{(1 + x_t)\,p_t t_t}{t_{ac}}$$

ou, en posant $p_{ac} = \dfrac{R}{e}$, $x_t = 0$,

$$p_{ac} < p_t \frac{t_t}{t_{ac}} - \frac{1}{t_{ac}}\,\frac{k}{\eta'_t}\left(\frac{1}{\eta_{ac}} - 1\right)H_e + \frac{1}{t_{ac}}\,\frac{m}{e}\left(\frac{k}{\eta_t} - \frac{k}{\eta'_t}\right)H_m. \qquad (25)$$

(1) Robert Haas et Carl-Theodor Kromer. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 19 avril et 22 novembre 1928, t. XLIX, p. 599-600 et 1 716-1 718 ; résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 1er septembre 1928, t. XXIV, p. 77 D et 16 mars 1929, t. XXV, p. 92 D.

(1) K. Kobler. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 28 mars 1929, t. L, p. 449-451 ; résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 15 juin 1929, t. XXV, p. 209 D.

(2) F. Marguerre. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 17 janvier 1929, t. L, p. 90-92 ; résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 13 avril 1929, t. XXV, p. 125 D.

Le dernier terme tient compte de l'influence que l'amélioration du rendement exerce sur la production totale de l'usine, même sur celle produite directement sans accumulation. Avec $p_t = 1525$, $t_t = 0{,}16$, $t_{ac} = 0{,}10$, $\eta_{ac} = 0{,}60$, $\tau_t = 0{,}205$, $\eta'_t = 0{,}21$, l'équation (25) devient

$$p_{ac} < 2\,440 - 31{,}6\,kH_e + 6{,}7\,\frac{m}{e}\,kH_m.$$

Si on suppose, par exemple, $H_m = 3000$, $\frac{m}{e} = 3$, $k = 0{,}022$, la condition justifiant l'emploi de l'accumulateur sera

$$p_{ac} < 2\,880 - 0{,}695\,H_e,$$

et, pour $H_e = 200$, 500 et 1 000 heures, le prix limite par kilowatt installé de l'accumulateur sur place serait $p_{ac} = 2\,730$, 2 530 et 2 185 fr.

XIV. **Marche en parallèle d'une usine hydroélectrique avec une usine thermique pourvue d'accumulateur d'énergie.** — L'emploi de l'énergie hydraulique n'étant suffisamment économique que si les nombres d'heures d'utilisation sont élevés, la valeur économique de cette usine considérée comme fournissant l'énergie de pointe étant, par conséquent, très désavantageuse par rapport à celle d'un accumulateur d'énergie, on arrive assez facilement à la conclusion que la solution la plus rationnelle du problème posé, consiste dans l'emploi simultané de l'énergie hydraulique et de l'accumulateur d'énergie thermique.

On peut, en effet, dans ce cas, faire travailler l'usine hydroélectrique, sans, ou de préférence, avec réserve journalière, de façon à lui assurer un nombre d'heures d'utilisation élevé, sans diminuer par ceci le rendement moyen de l'usine thermique marchant en parallèle, car le débit brut de cette dernière sera rendu régulier par l'accumulateur de l'énergie. Un schéma simplifié d'un groupement ainsi conçu de l'usine thermique avec accumulateur et de l'usine hydroélectrique, est donné par la représentation monotone du fonctionnement annuel représentée sur la figure 15.

Pendant la période q_1 (basses eaux), l'usine hydroélectrique pourvue d'une réserve journalière satisfait à une partie de la demande de base, la pointe étant fournie par l'accumulateur et le débit brut de l'usine thermique étant régularisé par la charge de l'accumulateur. Pendant la période q_2 (hautes eaux), une régularisation partielle de ce débit est obtenue. La période intermédiaire q_3 devra faire l'objet d'un examen spécial. Une partie de l'énergie hydraulique étant, éventuellement, inutilisée pendant la période q_2, il

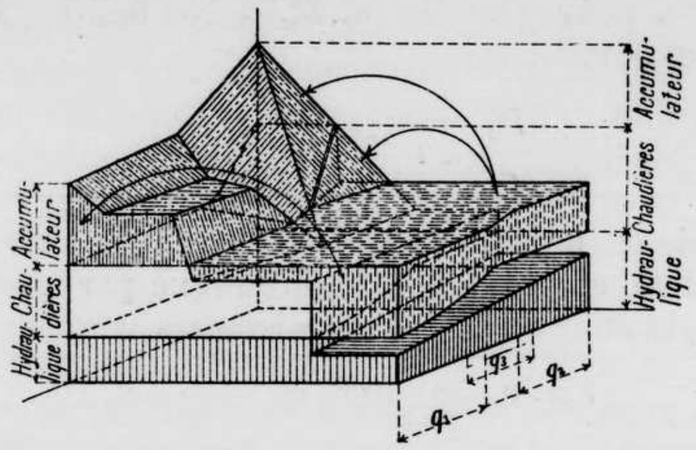


Fig. 15. — Schéma du fonctionnement annuel d'une usine hydroélectrique marchant en parallèle avec une usine thermique munie d'un accumulateur d'énergie..

sera opportun d'examiner la possibilité d'accumuler cette énergie hydraulique excédente, même dans le cas d'un accumulateur de vapeur ou électrique.

XV. **Conclusions**. — Les valeurs numériques très variables des facteurs figurant dans les équations qui expriment le prix de revient d'un kilowatt-heure produit, ne permettent pas d'obtenir une solution générale des problèmes économiques concernant l'emploi de l'énergie hydraulique, d'une part, et de la fourniture de l'énergie de pointe, d'autre part. L'influence de la marche en parallèle des usines génératrices thermiques et hydroélectriques sur le rendement moyen thermique est considérable et ne devrait pas être négligée. La valeur économique de l'usine hydroélectrique concurrencée par un accumulateur d'énergie, surtout un accumulateur de vapeur, est généralement faible. Une combinaison de trois éléments : usine hydroélectrique de base, accumulateur d'énergie thermique pour la fourniture des pointes, usine thermique régularisée autant que possible, apparaît comme la solution la plus avantageuse, le mode de l'accumulation le plus économique ne pouvant guère être déterminé d'une façon générale, mais seulement en tenant compte des circonstances particulières de chaque cas considéré.

J. Hak.

Revues, analyses et informations

Le rôle de l'huile isolante dans la rupture de l'arc (1).

1. Introduction. — Le temps nécessaire pour isoler un défaut survenant sur un circuit, par la coupure du disjoncteur correspondant, doit être le plus réduit possible. Or, ce temps peut lui-même se diviser en trois périodes concernant respectivement le fonctionnement du relais, l'opération mécanique du déclenchement du disjoncteur et l'extinction de l'arc de rupture.

Le but du présent article est d'exposer les recherches récentes concernant ce troisième élément, de signaler un moyen efficace pour le réduire et de mentionner des résul-

(1) B.-P. Baker et H.-M. Wilcox. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, avril 1930, t. xlix, p. 297 301, 3 000 mots, 6 figures.

tats d'essais exécutés sur différents disjoncteurs. Les auteurs rappellent que les premiers travaux ont eu pour but de supprimer l'arc en faisant pénétrer l'huile, par augmentation de la pression dans la zone occupée par cet arc. Dans ce but, on a cherché à provoquer une augmentation locale de la pression hydrostatique ou encore à accroître la pression au moyen de chambres semi-fermées dans lesquelles les gaz formés étaient retenus.

D'autre part, on a cherché à réduire ce temps en multipliant les points de coupure; mais des essais effectués dans ce sens ont montré que la rupture de l'arc sur un interrupteur à six coupures s'effectuait pratiquement à la même vitesse que sur un appareil de même type à quatre coupures.

Quelques progrès ont été réalisés avec des interrupteurs à grande vitesse dans lesquels les contacts se déplacent rapidement en forçant l'arc à abandonner la zone des gaz chauds et à pénétrer dans l'huile froide.

On a enfin reconnu qu'il était plus logique, en raison de l'extrême mobilité de l'arc, de déplacer celui-ci par rapport à l'huile et aux contacts que de faire l'inverse. Ce principe a été utilisé dans l'interrupteur deïon qui marque un progrès très notable dans la recherche de l'amélioration du temps d'extinction de l'arc.

2. Interrupteur deïon. — Les auteurs décrivent avec quelques détails le système d'extinction qui caractérise cet interrupteur. Cette description ayant été publiée dans ces colonnes (1), nous nous bornerons à rappeler que le dispositif est composé d'éléments ayant la forme d'un disque portant une fente étroite et assez longue; ces éléments sont empilés les uns sur les autres avec interposition d'isolants et de plaques en forme de fer à cheval jouant le rôle d'aimant. Les fentes des différents disques coïncident de telle manière que l'appareil monté forme une sorte de cylindre présentant sur l'une de ses génératrices une sorte de rainure très étroite. Dans ces conditions, l'arc pénètre dans cette rainure et, par suite de l'action magnétique due à la présence des plaques en forme de fer à cheval, il se déplace rapidement entre les éléments successifs du dispositif d'extinction, tout autour de la fente, jusqu'à ce qu'il soit éteint.

Il convient de remarquer que durant le déplacement de cet arc ainsi fractionné, l'huile ne peut pratiquement pas sortir du dispositif, si ce n'est par les extrémités du haut et du bas de l'étroite rainure formée par la succession des fentes des diverses plaques. Il en résulte que les gaz formés peuvent difficilement s'échapper, ce qui a pour effet d'augmenter la « déïonisation » de l'espace occupé par l'arc, c'est-à-dire de lui faire reprendre rapidement sa rigidité diélectrique après le passage de l'arc au zéro. Ce résultat est conforme aux travaux récents de Slepian sur l'extinction des arcs en courant alternatif (2).

(1) J.-S. Slepian; Théorie de l'interrupteur deïon. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, février 1929, t. xlviii, p. 93-96, 2700 mots, 3 figures. — R.-C. Dickinson et B.-P. Baker; Construction de l'interrupteur deïon pour tensions supérieures à 15000 v. *Idem*, février 1929, xlviii, p. 96-100, 3000 mots, 7 figures. — B.-G. Jamieson; Essais de l'interrupteur deïon. *Idem*, février 1929, t. xlviii, p. 101-104, 3800 mots, 1 figure; analysé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 29 juin 1929, t. xxv, p. 1015-1018.

(2) J.-S. Slepian; Extinction d'un arc à courant alternatif; *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, octobre 1928, t. xlvii, p. 706-710; résumé dans la *Revue générale d'Electricité*, 7 décembre 1928, t. xxiv, p. 213D.

J. Slepian. Extinction des arcs de grande longueur à courant alternatif. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, avril 1931, t. xlix, p. 310-314; analysé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 23 août 1930, t. xxviii, p. 287-288.

3. Essais et résultats. — Les essais ont été effectués avec un groupe de trois transformateurs de 33333 kv-a. Le courant a varié depuis une intensité de 20 a jusqu'à 15000 a, la tension étant elle-même comprise entre 13200 et 176000 v. La fréquence du courant était de 60 p : s.

Lors d'un essai, la tension initiale appliquée étant 86 kv, le courant s'est élevé à 1200 a au moment où l'arc a été dirigé vers l'extincteur; il a été soufflé en 2,5 périodes soit approximativement 30 pour 100 du temps pris par les contacts mobiles pour se séparer; au moment de l'extinction la distance de ceux-ci n'était que 5,5 inches (13,8 cm), alors que la course totale était de 11 inches (27,5 cm). Pendant la rupture de l'arc, une énergie de 100 kilojoules fut dissipée et la pression s'éleva à 18 livres par square inch (1,26 kg : cm²). On a représenté en figure 1 la courbe de l'énergie dissipée dans l'arc en fonction du courant pour le

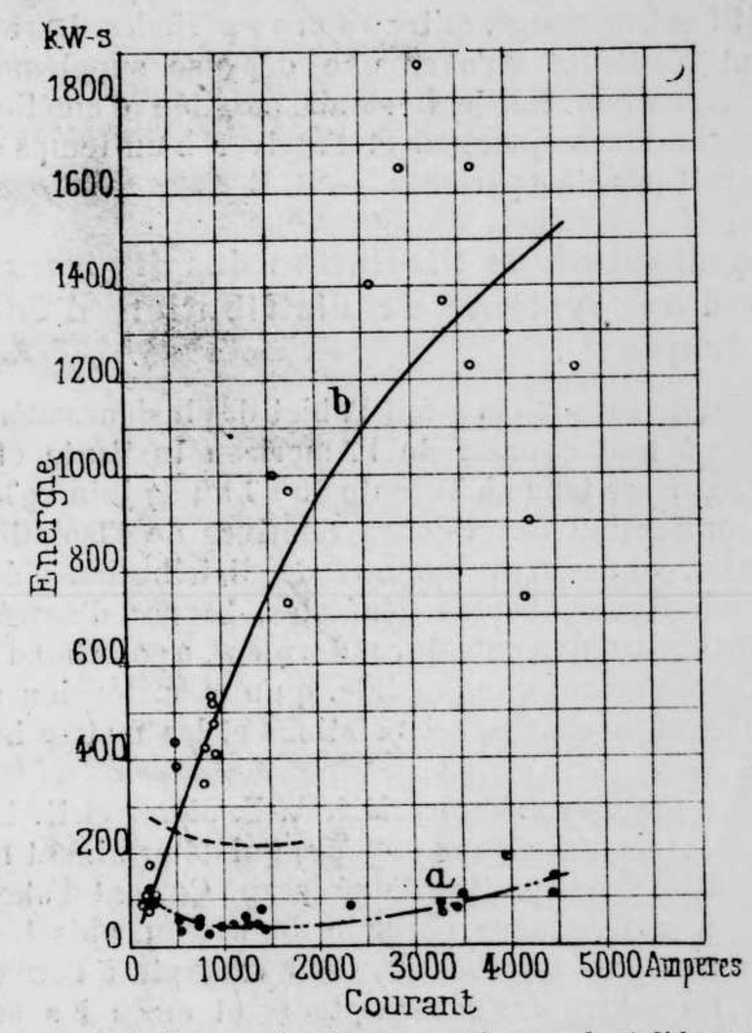


Fig. 1. — Relation entre le courant coupé et l'énergie développée dans l'arc pendant la rupture : a, cas d'un interrupteur à rupture ultra rapide; b, cas d'un interrupteur avec dispositif deïon. Dans les deux cas la tension était de 38 kv.

cas d'un interrupteur à commande mécanique ultra-rapide (courbe a) et pour celui d'un interrupteur muni d'un dispositif extincteur deïon (courbe b).

Deux séries d'essais ont été exécutées sur une ligne à 66 kv en courant alternatif à 60 p : s, le courant maximum de court-circuit étant de 7000 a; on utilisait à cet effet un disjoncteur établi pour 110 kv, 600 a à commande électrique et muni du dispositif deïon. Dans chacune des deux séries on procéda à des essais en court-circuit sur une et sur plusieurs phases.

La première série comportait 35 ruptures d'arc, dont 12 simultanément sur les trois phases. La durée moyenne de l'extinction fut de 1,8 périodes, l'interruption étant obtenue pendant le premier quart du temps de séparation totale des contacts. Aucun incident ne fut noté malgré les conditions très dures de fonctionnement du disjoncteur; on n'observa même pas de projection d'huile.

Dans la deuxième série composée de 50 essais, dont 10 en court-circuit triphasé, l'intensité du courant fut comprise

entre 1 000 et 3 900 A. La durée moyenne de rupture fut de 1,9 périodes, c'est-à-dire très sensiblement la même que précédemment, les temps minimum et maximum étant respectivement de 1,0 et 3.5 périodes.

D'autres essais furent exécutés au laboratoire et, dans l'ensemble, plus de 2 000 ruptures de court-circuit entre 20 et 15 000 A, entre une paire de contacts de disjoncteur, ont démontré l'efficacité du dispositif deïon. Avec les vitesses de coupure de 8 pieds par seconde (2,5 m:s) utilisées pour la séparation des contacts et les relais actuellement en usage, qui entrent en action en un temps inférieur à une demi-période, on arrive à couper pratiquement le courant de court-circuit, pour les plus hautes tensions, avant que la stabilité du réseau ait été détruite. Le temps total entre le moment où débute la perturbation et celui où l'arc est complètement éteint est, en effet, compris, lorsque le dispositif est en usage, entre 10 et 12 périodes. Les auteurs estiment d'ailleurs qu'avec une dépense supplémentaire relativement peu élevée il serait possible d'améliorer la construction du disjoncteur et d'arriver à un temps qui ne dépasserait pas 7 à 8 périodes. — B. E.

La coordination de l'isolation des diverses parties d'un système de distribution d'énergie électrique (1).

Le sujet de cet article a fait l'objet de plusieurs mémoires présentés à une réunion de l'American Institute of electrical Engineers tenue à Toronto du 23 au 27 juin 1930.

La coordination des valeurs relatives de l'isolation des différentes parties d'un système de distribution d'énergie électrique, lignes, barres générales, bornes d'entrée des appareils et enroulements de ces derniers, a pour but d'éviter aussi complètement que possible, qu'une surtension puisse affecter les appareils des sous-stations et les mettre hors de service.

Dans un premier mémoire, MM. A.-E. Silver et H.-L. Melvin étudient les principaux facteurs qui déterminent l'isolation des différentes parties d'un réseau. Ce sont d'abord les tensions à la fréquence normale du réseau, puis les surtensions d'origine interne, dues par exemple à l'ouverture ou à la fermeture des interrupteurs et enfin les surtensions dues à la foudre. A cet égard, l'établissement de quatre niveaux d'isolation séparés les uns des autres par une marge de 5 à 10 pour 100 est recommandé. Le niveau le plus bas correspondrait à la portion de ligne précédant immédiatement l'arrivée à la sous-station et qui offrirait ainsi un chemin de décharge pour toutes les surtensions. Le second niveau serait celui des barres générales et de leurs connexions; le troisième, celui des bornes d'entrée des divers appareils; enfin le dernier niveau, et le plus élevé serait celui des appareils eux-mêmes et particulièrement leur isolation intérieure.

On trouve dans l'article qui nous occupe les résultats de recherches effectuées par M. C.-L. Fortescue sur les caractéristiques de l'éclatement de l'étincelle sous l'effet d'une surtension instantanée relativement à divers types de chaînes d'isolateurs et d'élévateurs.

Cet auteur a comparé, en particulier, les chaînes d'isolateurs avec et sans anneaux de garde et est arrivé à cette conclusion que dans la partie de la ligne située avant les sous-stations et sur laquelle on réduit l'isolation, il n'est pas indiqué d'employer des chaînes d'isolateurs avec anneaux de garde. Il donne aussi quelques indications sur les caractéristiques relatives des divers éléments de l'isolation dans une sous-station, au point de vue de la détermination de la coordination des valeurs de cette isolation.

Selon G.-D. Floyd, cette coordination se résoudrait à prévoir pour les différentes parties de l'installation, une isolation prévue par une tension supérieure à la tension maximum qui peut exister au point de branchement d'un parafoudre quels que soient la nature et le type de surtension.

MM. Montsinger et W.-H. Dann proposent trois méthodes pour réaliser la coordination de l'isolation entre transformateur et ligne, à savoir: l'emploi l'un parafoudre branché à 30 m au plus des bornes du transformateur, celui d'un éclateur branché dans les mêmes conditions et établi pour une tension d'éclatement fonction de la tension normale en ligne et de la tension d'essai du transformateur et enfin la diminution de l'isolation de la ligne sur sa dernière partie avant la pénétration dans le poste. Ces auteurs donnent ensuite quelques recommandations sur l'application pratique de ces méthodes. — J. S.

(1) *Electrical World*, 5 juillet 1930, t. XCVI, p. 16-26, 9000 mots 6 figures.

Compensateurs synchrones de 25 000 kilovolts-ampères à axe vertical pour fonctionnement à l'extérieur (1).

Le poste de transformation de Toronto, de la Hydro-Electric Power Commission of Ontario, comporte deux compensateurs synchrones de 25 000 kv-A à axe vertical, fonctionnant à l'extérieur. Ces machines sont alimentées à la tension de 13 200 v, à la fréquence de 25 p:s et tournent à la vitesse de 500 t:mn.

Le massif de base qui supporte le compensateur ainsi qu'un portique roulant de 80 t, forme un puits contenant les excitatrices. Ce puits est entouré d'une galerie où sont logés tous les appareils auxiliaires tels que les pompes à huile, les réfrigérants d'huile, les appareils de coupure et de protection.

Au-dessus du sol une chambre métallique cylindrique protège la machine contre les intempéries et contient également les filtres d'air ainsi que les orifices et canaux nécessaires à assurer la ventilation.

Le rotor de chaque compensateur pèse environ 80 t. Il est supporté par un palier de butée de construction spéciale, à rotule et complètement fermé. Le palier supérieur est également fermé. Les deux excitatrices sont logées sous le palier de butée. L'une est l'excitatrice principale, l'autre fonctionne comme excitatrice pilote et est agencée pour obtenir une grande vitesse de régulation. Ces excitatrices sont accouplées directement mais elles sont supportées par un chariot qui, par un ingénieux dispositif, peut être maintenu fixe ou être tiré sur une voie sous le plancher du palier de butée. De la sorte, les excitatrices peuvent être enlevées, si besoin est, sans démontage du rotor du compensateur. Après cette opération, le rotor peut être descendu à leur emplacement. Cette disposition permet d'effectuer sur place toutes réparations utiles sur le rotor ou le stator. Le rotor est muni d'une cage d'écureuil pour le démarrage en moteur asynchrone.

Ces compensateurs, qui à la connaissance des auteurs sont les premiers de cette puissance construits avec arbre vertical, ont pleinement justifié, quant aux résultats d'exploitation, les solutions originales auxquelles leur étude avait donné lieu. — M, R.

(1) H.-A. Ricker, J.-R. Dunbar et R.-E Day *Journal of the American Institute of Electrical Engineers*, juillet 1930, t. XLIX, p. 517-519, 1 000 mots, 4 figures.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Energie électrique du Littoral méditerranéen.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 13 JUIN 1930.

Des rapports annuels, concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 330 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 5, avenue du Coq, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Les premières semaines de l'exercice 1929 ont été caractérisées par une période de froid exceptionnel qui a sévi sur toute l'Europe et n'a pas épargné la région de la Durance et des Alpes-Maritimes. Le débit des canaux d'alimentation des usines hydrauliques s'est trouvé réduit dans des proportions inconnues depuis longtemps, ce qui a conduit la société à recourir, dans une très large mesure, aux usines thermiques de Sainte-Tulle et de Lingostière pour la production de l'énergie de complément nécessaire. Grâce à l'importance de ces installations, à l'appoint fourni par l'usine hydraulique du Bancairon, alors en cours d'essais, et à la liaison de cette usine avec l'usine de Sainte-Tulle par les lignes de transmission à 120000 v nouvellement construites, elle a pu franchir cette période critique, malgré des difficultés considérables, sans imposer de restrictions à la clientèle, montrant ainsi toute la sécurité que les usines thermiques modernes et les récents aménagements d'usines et de lignes assurent à son exploitation.

Mais la marche intensive des usines de Sainte-Tulle et de Lingostière qui en est résultée a occasionné une consommation exceptionnellement importante de combustibles. Les frais de consommation de charbon à imputer sur l'exercice ont été réduits par le prélèvement d'une somme de 2 millions de francs au compte provision pour régularisation des frais de production à la vapeur.

La crise industrielle constatée en 1927 dans le sud-est de la France s'est déjà grandement atténuée. La reprise de l'activité économique dans la région de Marseille s'est encore manifestée en 1929; sur la Côte d'Azur, la consommation d'énergie électrique a continué également à se développer. Il en est résulté une notable augmentation des ventes de courant pendant l'exercice 1929.

Les recettes d'exploitation se sont élevées à 136 785 901,34 fr, en augmentation de 22 506 975,57 fr sur celles de l'exercice précédent (1).

Les dépenses d'exploitation ont atteint 57 843 178,62 fr contre 50 478 702,41 fr en 1928.

L'excédent des recettes d'exploitation sur les dépenses, c'est-à-dire le produit d'exploitation est de 78 942 722,72 fr, en augmentation de 15 142 499,36 fr sur celui de 1928 qui était de 63 800 223,36 fr.

D'autre part, les 300000 actions à vote privilégié créées jouissance du 1er janvier 1929, participent pour la première fois cette année à la répartition du dividende, dans les conditions prévues aux statuts.

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 14 septembre 1929, t. XXVI, p. 420.

Les résultats indiqués ci-dessus permettent, après des versements importants aux réserves et amortissements s'élevant à la somme totale de 19 749 721,14 fr, y compris l'augmentation du report à nouveau, d'attribuer pour l'exercice 1929 un dividende de 11 pour 100 aux actions ordinaires dites actions A contre 10 pour 100 pour l'exercice précédent.

Quant aux actions B, qui interviennent pour la première fois dans la répartition des bénéfices, elles recevront un dividende de 7,25 pour 100.

Les chiffres ci-après donnent un aperçu de l'importance des réseaux de distribution de la société : longueur des artères à 120000 v, 203 km; longueur des artères à 60000-50000 v, 1283 km; longueur des artères à 30000-20000-13000 et 10000 v, 2625 km; longueur des lignes de distribution à basse tension, 1119 km.

Au cours de l'exercice, la puissance raccordée est passée de 88 000 à 95 000 kw pour la vente en gros aux concessionnaires, le nombre de lampes s'est élevé de 546 820 à 612000, et enfin, pour la vente directe, la puissance raccordée est passée de 50 596 à 54 600 ch.

La mise en serviee de l'usine du Bancairon, effectuée au cours de l'exercice 1929, après une période d'essais très satisfaisants, constitue la première étape de l'aménagement intégral de la rivière La Tinée, dans les Alpes-Maritimes. Dès cette première année, l'usine du Bancairon a fourni plus de la moitié de la production moyenne escomptée.

Les lignes de transmission d'énergie électrique à 120000 v réunissant l'usine du Bancairon à l'usine thermique de Lingostière (Alpes-Maritimes) d'une part, et au groupe des usines de la Durance (par l'usine de Sainte-Tulle) d'autre part, ayant été terminées et mises en service également au début de l'année 1929, ont permis de répartir l'énergie produite par cette nouvelle usine entre les deux grands centres de consommation. Elle participe donc dès maintenant à l'alimentation de l'ensemble de la clientèle.

Depuis leur mise en service, ces installations nouvelles ont fonctionné sans interruption et dans les meilleures conditions.

Mais, par suite du développement incessant des besoins en énergie électrique de la région desservie par les réseaux de la société, la production totale de l'usine du Bancairon sera très prochainement absorbée. Il paraît donc nécessaire de se préoccuper dès maintenant de procurer à la société les nouvelles quantités d'énergie électrique d'origine hydraulique dont elle aura besoin au cours des prochaines années. Il y aura donc lieu de poursuivre le programme d'aménagement général de La Tinée par la mise en chantier, au moment opportun, des chutes de la Courbaisse et de Saint-Etienne-Lacs, dont la concession a été obtenue en même temps que celle de la chute du Bancairon.

D'autre part, la société vient de demander la concession d'un réseau de transmission d'énergie à très haute tension qui, dans son esprit, doit faire partie du réseau général

d'interconnexion étudié à la demande du Ministère des Travaux publics et s'étendant sur toute la France. Ces nouvelles lignes assureront prochainement la liaison du groupe des usines de la société avec les grands centres de production d'énergie des Pyrénées, du Massif central, des Alpes et, ultérieurement, du Rhône ; elles permettront des achats et des échanges d'énergie avec ces divers groupes d'usines installées dans des régions dont le régime hydraulique est souvent complémentaire.

Le conseil a estimé nécessaire d'obtenir le contrôle de la Société Sud électrique qui dessert près de 400 communes et à qui la société fournissait déjà la plus importante partie de l'énergie électrique dont elle a besoin. Cette opération est maintenant réalisée.

Le rapport du conseil d'administration signale encore la participation importante prise par la société dans l'Union pour l'Industrie et l'Electricité. Cette dernière a été constituée, avec le concours de groupes importants de producteurs et de distributeurs des Alpes et de la région parisienne, à l'effet de réaliser un vaste programme concernant à la fois l'équipement de chutes, notamment dans la région des Alpes, et la construction de grands réseaux de transmission à très haute tension entre les diverses régions.

L'augmentation de 70 818 123,11 fr des dépenses d'installations figurant au bilan provient, pour la plus grande partie, de l'achèvement des travaux de l'usine de Bancairon et des lignes à très haute tension, ainsi que des dépenses engagées au 31 décembre 1929 pour les agrandissements des usines thermiques de Sainte-Tulle et de Lingostière. Ces dépenses comprennent également les charges d'intérêts et la part des frais généraux qui se rapportent à ces travaux.

Du fait des participations prises par la société dans des affaires similaires, le chapitre portefeuille et participations est passé de 57 177 442,33 fr à 79 149 079,63 fr.

Comme indiqué ci-dessus, il a été prélevé 2 millions de francs sur le compte provision pour régularisation des frais de production à la vapeur ; le montant de ce compte se trouve ainsi ramené de 12 500 365,25 fr à 10 500 365,25 fr.

Le conseil a jugé utile d'effectuer avant bilan des versements de 1 million de francs à la provision pour dépenses exceptionnelles et de 12 millions de francs au compte réserve générale d'amortissement. Ces deux postes se trouveront de ce fait portés respectivement à 8 millions de francs et 26 700 000 fr.

Une somme de 2 millions de francs a également été affectée à l'amortissement du compte frais des augmentations de capital. Ce compte se soldera au 1er janvier 1930 par 6 053 610,77 fr, à amortir au cours des prochains exercices.

Le produit d'exploitation s'élève à 78 942 722,72 fr. Il s'y ajoute le produit du portefeuille, les intérêts des fonds disponibles, les recettes provenant des travaux divers exécutés pour les clients, les intérêts divers et les agios, le tout s'élevant à 11 560 879,53 fr.

Le total de ces deux postes représente une somme de 90 503 602,27 fr dont il faut retrancher : les frais généraux d'administration, 636 767,59 fr ; l'abonnement au timbre des actions, des obligations et des bons, 1 203 056 fr ; l'intérêt des obligations et des bons et les impôts sur ces titres qui sont à la charge de la société, soit 30 008 575,75 fr.

Il reste pour le produit brut de l'exercice, 58 655 202,93 fr.

On en déduit : amortissement de 2 354 obligations, 1 177 000 fr ; amortissement sur frais des augmentations de capital, 2 000 000 fr ; amortissement des dépenses de mobilier et d'outillage faites en 1929, 750 509,50 fr ; amortissement sur compteurs et matériel en location, 500 095,60 fr ; versement à la provision pour dépenses exceptionnelles, 1 000 000 fr ; versement à la réserve générale d'amortissement, 12 000 000 fr.

Le bénéfice net de l'exercice ressort à 41 227 597,83 fr.

En y ajoutant le report à nouveau de l'exercice 1928, soit 2 141 672,46 fr, le solde disponible s'élève à 43 369 270,29 fr.

Ce solde est réparti comme il suit : à la réserve légale, 5 pour 100 sur 41 227 597,83 fr, soit 2 061 379,89 fr ; au fonds d'amortissement du capital, 2 061 400 fr ; dividende de 6 pour 100, soit 30 fr par titre aux 600 000 actions A, 18 000 000 fr ; dividende de 6 fr par titre aux 300 000 actions B, 1 800 000 fr ; tantième statutaire, 1 730 481,79 fr ; dividende supplémentaire de 5 pour 100, soit 25 fr par titre aux 600 000 actions A, 15 000 000 fr ; dividende de 1,25 fr par titre aux 300 000 actions B, 375 000 fr.

Le solde, soit 2 341 008,61 fr, est reporté à nouveau.

Le dividende brut total pour l'exercice 1929 est donc de 11 pour 100, soit 55 fr par titre pour les actions A contre 10 pour 100 en 1928, et de 7,25 pour 100, soit 7,25 fr par titre pour les actions B.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Frais de constitution	1 »
Frais des augmentations de capital	6 053 610,77
Mobilier et outillage	1 »
Dépenses d'installations	743 641 127,20
Portefeuille et participations	79 149 079,63
Compteurs et matériel en location	4 500 860,30
Approvisionnements	20 888 501,06
Caisses et comptes courants	23 117 871,20
Factures à encaisser	21 223 312,50
Débiteurs divers	8 120 853,69
Impôts sur titres à recouvrer	7 128 638,37
Compte d'ordre et divers	1 765 387,57
	915 589 244,29

Passif.

	fr
Capital :	
600 000 actions A de 500 fr et 300 000 actions B de 100 fr	330 000 000 »
Obligations	369 062 693,06
Réserve légale	8 598 001,65
Fonds d'amortissement du capital	8 603 700 »
Réserve d'amortissement par remboursement d'obligations	10 003 164,09
Réserve générale d'amortissement	26 700 000 »
Provision pour dépenses exceptionnelles	8 000 000 »
Provision pour régularisation des frais de production à la vapeur et pour grosses réparations	10 500 365,25
Créditeurs divers	77 936 529,28
Cautionnements et avances de clients	2 708 780,25
Travaux et installations à régler par annuités	3 640 928,21
Coupons à payer et obligations à rembourser	8 934 926,04
Impôts à payer	3 518 295,68
Comptes d'ordre et divers	4 012 590,49
Profits et pertes	43 369 270,29
	915 589 244,29

SECTION DE LÉGISLATION

Le renouvellement du matériel dans une concession de distribution d'énergie.
Une annuité par exercice est une charge de l'entreprise

(Arrêt du Conseil d'État du 10 juillet 1930)

Il est regrettable que des contrôleurs résistent encore, dans la question de l'impôt des bénéfices industriels et commerciaux, à l'inscription aux frais généraux d'une annuité représentant le renouvellement du matériel qui, cependant, doit toujours être tenu en bon état. La décision que l'on va lire est catégorique et peut être classée dans les meilleures décisions de principe.

I. **Importance de la décision rendue.** — Nous n'aurions point pensé à reproduire la décision du 10 juillet 1930, si elle s'était bornée à constater le principe d'après lequel une entreprise concédée doit inscrire au nombre de ses charges annuelles, une annuité correspondant au renouvellement de son matériel. Pour qu'il en fut autrement, il faudrait rayer du cahier des charges des concessions municipales des distributions d'énergie, l'article 24 ainsi conçu : « Le concessionnaire est tenu, en cas de rachat ou en cas de reprise à l'expiration de la concession, de remettre à l'autorité concédante tous les ouvrages et le matériel de la distribution en bon état d'entretien » ; et l'article 39 du cahier des charges type des concessions hydrauliques rédigé exactement dans les mêmes termes, devrait également disparaître. Mais l'arrêt, prend un intérêt particulier, quand on remarque les circonstances dans lesquelles il a été rendu.

La concession avait été donnée le 24 mars 1914 par la ville de Roanne à deux sociétés conjointement et solidairement entre elles. Quelques mois plus tard la guerre éclatait et, comme toutes les exploitations de même nature, la concession de Roanne se trouvait en juin 1920 en déficit notoire : le 23 juin, un avenant intervenait et relevait jusqu'au 1er novembre suivant les tarifs, dans l'attente d'un accord définitif entre les parties. La Ville voyant que cet accord n'interviendrait jamais à cause des divergences de vue, saisit elle-même le Conseil de Préfecture d'une demande d'expertise, qui, disait-elle dans son mémoire, aurait pour but d'effectuer les opérations successives, définies par la jurisprudence du Conseil d'Etat. Les sociétés n'avaient évidemment aucune objection de principe à élever contre l'expertise sollicitée, mais elles tinrent à préciser que, parmi les charges dont les experts devraient tenir compte, se trouverait l'annuité d'amortissement destinée à faire face au renouvellement des installations. La Ville répondit qu'elle consentait à ce que l'expertise fît entrer en ligne de compte les amortissements portés dans la comptabilité pendant les exercices en cours, mais qu'elle s'opposait à ce que cette comptabilité fût redressée par le calcul des annuités qui auraient dû être inscrites, mais qui ne l'ayant pas été en fait doivent être mises en dehors de toute évaluation.

En principe, disaient les compagnies, l'annuité est une charge, normale, légale, contractuelle : si des causes extracontractuelles nous ont empêchées de les inscrire à chaque exercice, l'indemnité n'en doit pas moins tenir compte, puisque, précisément, elle nous est accordée pour compenser pendant la durée litigieuse, les insuffisances de nos recettes pour couvrir toutes nos charges.

La Ville de Roanne (et le Conseil de Préfecture s'était rangé à son avis) répondait : « La comptabilité doit être examinée dans son état matériel : on ne saurait en extraire les amortissements qui y ont été passés ; mais si la compagnie concessionnaire n'a pas effectué les travaux de renouvellement, elle est sans droit pour réclamer ce qu'elle n'a pas accompli ; s'il en était autrement, on assimilerait les dépenses nécessaires aux dépenses effectives, et on ouvrirait la porte à la réparation rétroactive d'une mauvaise gestion ».

II. **Décisions antérieures à invoquer.** — Si l'on remarque que la concession avait été donnée en mars 1914, à la veille du jour où allait commencer l'époque dite de l'extracontractualité, on peut dire que la décision ci-dessous reproduite est calquée sur l'arrêt du Conseil d'Etat du 23 janvier 1925 (affaire Communes de Marcenat et de Condat contre Gratacap). En effet, le Conseil d'Etat, dans cette première affaire, avait déjà approuvé l'expertise, en ce qu'elle avait compris au nombre des charges qui doivent être rapprochées des recettes, l'annuité nécessaire pour permettre au concessionnaire de renouveler l'outillage qui deviendrait inutilisable avant la fin de la concession ; et il

avait même souligné le motif de son approbation. En effet, a-t-il dit, la constitution des réserves est indispensable pour que le concessionnaire soit à toute époque, en mesure d'assurer la continuité du service, et, par là même, de remplir celle de ses obligations contractuelles qui « avant toute autre » s'impose à lui.

Le Conseil d'Etat avait réformé l'expertise sur un seul point. Les experts avaient admis que, chaque année, pendant la période d'extracontractualité, le concessionnaire avait droit d'inscrire comme charge, une annuité pour le remboursement du matériel. A l'entrée de cette période, fixée en mars 1920, l'amortissement avait fonctionné, ou était censé avoir fonctionné pendant onze années, à compter de 1909, date de la pose du matériel ; la réserve inscrite devait atteindre un certain chiffre qu'il s'agissait de compléter pendant neuf ans, pour avoir un amortissement total, les experts ayant estimé que le matériel devait être amorti en vingt ans. En admettant parfaitement ce système, le Conseil remarque que la part attribuée par les experts à l'amortissement des onze premières années était trop faible, ce qui avait l'inconvénient de rendre plus forte la part afférente aux neuf années de complément : il majore la réserve afférentes aux onze premières années, en remarquant que le prix d'achat du matériel, à l'entrée de la concession n'aurait pas dû être adopté comme une constante ; les experts auraient dû admettre que, de 1909 à 1920, la valeur de ce matériel aurait été en croissant et qu'il aurait fallu augmenter l'amortissement annuel.

Est-il besoin de faire remarquer qu'un pareil raisonnement ne trouve aucune place dans l'affaire que nous étudions, pour laquelle la période d'extracontractualité avait commencé presque dès l'octroi de la concession?

C'est un arrêt bien formel que celui du 6 août 1928 (affaire Ville de Libourne contre Compagnie nouvelle d'Eclairage et de Chauffage par le Gaz), qui a admis comme une charge nécessaire deux sortes d'amortissements : l'amortissement financier qui permettra par une réserve annuelle de récupérer à la fin de la concession le capital investi dans des installations qui seront remises gratuitement à l'autorité concédante, et l'amortissement industriel qui représente le « renouvellement de l'outillage devenu inutilisable avant la fin de la concession ».

On verra enfin, dans le même sens, une décision plus récente qui admet le même principe, il s'agit de l'arrêt du 11 mai 1929 (affaire Commune de Gavray, contre Leroux père et fils).

III. **Différence au point de vue des charges entre l'entretien réellement fait et l'annuité d'entretien**. — Au premier abord, on pourrait croire que dans l'arrêt ci-dessous reproduit, on doit trouver une divergence entre certaines décisions antérieures et la phrase très nette que l'on trouve dans l'arrêt, ainsi conçue : « Considérant que la circonstance que le montant de l'annuité dont il s'agit n'a pas été effectivement prélevé au cours de la période extracontractuelle sur les recettes de l'entreprise concédée en vue de faire face à l'amortissement du matériel et des installations de cette dernière ne saurait faire obstacle à ce qu'il soit tenu compte de ladite charge dans le calcul de l'indemnité ».

En effet, si l'on prend l'arrêt du Conseil d'Etat du 23 juin 1922, on lit ce qui suit : « Considérant que, dans l'appréciation des compensations auxquelles le concessionnaire peut prétendre, peuvent seuls être admis en compte, en ce qui concerne les dépenses d'entretien, les travaux qu'il a réellement effectués, conformément à son obligation de maintenir le matériel en bon état, à l'exclusion de ceux qu'il a cru devoir ajourner. Et si l'on prend l'arrêt du 8 août 1924 (Ville de Brive), on voit que pour critiquer le rapport des experts, le Conseil d'Etat s'exprime de la façon suivante : « Considérant que les experts, en ce qui concerne l'évaluation des charges n'ont pas tenu compte uniquement des dépenses effectuées au cours de la période litigieuse ; qu'ils ont fait état notamment de la charge supplémentaire que la Société pourra avoir ultérieurement à supporter pour les dépenses différées d'entretien et de renouvellement de matériel, etc... »

Cette opposition n'est qu'apparente et toute confusion se dissipe à cette simple remarque : l'annuité d'entretien et de renouvellement est une charge permanente que toute société doit inscrire annuellement ; mais l'entretien est tout différent de l'annuité : un concessionnaire peut parfaitement utiliser pendant un seul exercice une somme beaucoup plus grande que l'annuité ou constater qu'après n'avoir rien dépensé pour mettre en bon état d'entretien son matériel, il lui aurait fallu y affecter une somme considérable par rapport à l'annuité et enfin, c'est ce qui paraît résulter de l'arrêt du 8 août 1924 (Ville de Brive), on peut rencontrer des experts qui allouent à l'exercice une somme représentant l'entretien qui n'a pas été fait et aussi les dépenses qui seront rendues nécessaires pour faire plus tard à des prix majorés, l'entretien qui n'a pas été accompli aux époques voulues.

Le Conseil d'Etat n'admet pas que l'on porte en compte des frais que l'exercice aurait dû supporter, mais qui, en fait, n'ont point été réalisés : il serait trop facile de charger ainsi un exercice extracontractuel à titre d'entretien, d'une somme représentant plusieurs annuités.

IV. **Texte de l'arrêt**. — Considérant qu'au nombre des charges qui doivent être rapprochées des recettes en vue de déterminer l'indemnité pouvant être due à un concessionnaire à raison des conditions exceptionnelles et imprévues dans lesquelles ce dernier a pourvu au service public dont l'exploitation lui incombe, figure l'annuité nécessaire pour lui permettre de renouveler l'outillage qui deviendrait inutilisable avant la fin de la concession, la constitution de ces réserves étant indispensable pour que le concessionnaire soit, à toute époque, en mesure d'assurer la continuité du service ; que la circonstance que le montant de l'annuité dont

il s'agit n'a pas été effectivement prélevé au cours de la période extracontractuelle sur les recettes de l'entreprise concédée en vue de faire face à l'amortissement du matériel et des installations de cette dernière ne saurait faire obstacle à ce qu'il soit tenu compte de ladite charge dans le calcul de l'indemnité; que c'est par suite à tort que le Conseil de Préfecture de la Loire, fixant la mission des experts par lui désignés en vue de déterminer le montant de la compensation à laquelle la Compagnie électrique de la Loire et du Centre et la Compagnie l'Union des Gaz, concessionnaires de la distribution de l'énergie électrique dans la ville de Roanne, peuvent avoir droit à raison des conditions extracontractuelles dans lesquelles lesdites compagnies ont dû assurer leur exploitation, a rejeté les conclusions de ces dernières tendant à faire décider qu'il serait tenu compte des annuités nécessaires pour faire face au renouvellement du matériel des installations; que les compagnies requérantes sont, dès lors, fondées à demander sur ce point l'annulation de l'arrêté attaqué;

Décide :

L'arrêté du Conseil de Préfecture de la Loire, en date du 3 juin 1926 est annulé en tant que, par ledit arrêté, le Conseil de Préfecture a décidé qu'il ne serait pas fait état, dans le calcul de la charge extracontractuelle, des annuités nécessaires pour faire face à l'amortisement industriel; les experts désignés par la décision attaquée auront à tenir compte, pour fixer l'indemnité pouvant être due à la Compagnie électrique de la Loire et du Centre et à la Compagnie l'Union des Gaz, du montant des annuités susindiquées; les dépens exposés par les compagnies requérantes sont mis à la charge de la Ville de Roanne.

Paul Bougault,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Décret portant règlement des installations électriques dans les mines de combustibles.

Ce décret, en date du 30 juillet 1930 et publié au « Journal officiel » du 12 septembre, pages 10569 à 10574, a pour titre : « Décret modifiant le décret du 13 août 1911 portant règlement général sur l'exploitation des mines de combustibles ».

D'après l'article premier, la section II du titre I et le titre XII du décret du 13 août 1911 sont abrogés et remplacés par de nouvelles dispositions. D'après l'article 2, le titre XV est complété par un nouvel article.

Nous reproduisons ci-dessous les dispositions nouvelles concernant la section II du titre I; dans un prochain numéro nous publierons les modifications apportées au titre XII et l'addition faite au titre XV.

Titre premier. — Section II : Installations électriques. — 1. *Généralités.* — Art. 24. — § 1er. Sous réserve des dispositions spéciales prévues dans le présent règlement, les prescriptions des arrêtés pris par le ministre des Travaux publics, en conformité de l'article 19 de la loi du 15 juin 1906, sont applicables aux ouvrages des distributions d'électricité dépendant des mines et empruntant le domaine public en un point quelconque de leurs parcours, ainsi qu'aux ouvrages des distributions établies exclusivement sur des terrains privés et s'approchant à moins de 10 m de distance horizontale d'une ligne télégraphique ou téléphonique préexistante.

§ 2. Toutes les autres installations électriques, usines de production d'énergie électrique et ouvrages d'utilisation établie à la surface, dans les carreaux et dépendances des mines, doivent sans préjudice de l'observation de toutes les règles de l'art, satisfaire aux prescriptions des articles ci-après :

Art. 25. — § 1er. Les installations électriques doivent comporter des dispositifs de sécurité en rapport avec la plus grande tension de régime existant entre les conducteurs et la terre (1).

(1) Dans les distributions triphasées, on admet que cette tension est représentée par $\frac{U}{\sqrt{3}}$, U étant la tension efficace entre phases.

§ 2. Les installations fonctionnant sous une tension ainsi définie ne dépassant pas 30 v sont appelées « à très basse tension »; elles ne sont astreintes à aucune disposition spéciale en dehors de celles mentionnées aux articles 25 bis, paragraphes 3 et 4, 26, paragraphe 1, et des règles concernant l'emploi en atmosphère explosive et dans les mines à grisou.

§ 3. Les autres installations électriques sont classées en trois catégories :

Première catégorie.

A) En courant continu : les installations dans lesquelles la plus grande tension de régime entre les conducteurs et la terre ne dépasse pas 600 v;

B) En courant alternatif :

B^1 Celles pour lesquelles la plus grande tension efficace entre les conducteurs et la terre ne dépasse pas 150 v;

B^2 Celles pour lesquelles cette tension excède 150 v sans dépasser 250 v.

Deuxième catégorie.

Les installations dans lesquelles la tension dépasse les limites ci-dessus sans atteindre 60 000 v en courant continu ou 33 000 v en courant alternatif.

Troisième catégorie.

Les installations dans lesquelles la tension égale ou dépasse 60000 v en courant continu ou 33000 v en courant alternatif.

Art. 25 bis. — § 1er. Dans tout circuit électrique, le courant doit pouvoir être coupé sur tous les conducteurs à chaque récepteur, transformateur, convertisseur, ainsi qu'aux principaux branchements.

§ 2. Les appareils d'interruption seront aisément reconnaissables et disposés de manière à être facilement accessibles.

§ 3. Toutes dispositions doivent être prises, soit par construction, soit par le moyen de limiteurs de tension, pour éviter que, par suite d'un contact, d'une détérioration d'isolants, ou par un effet d'induction, une installation risque de recevoir une tension plus forte que celle pour laquelle elle a été prévue.

§ 4. Les installations à très basse tension ne doivent avoir aucun conducteur sous tension câblé avec les conducteurs actifs d'autres catégories; leur alimentation par l'intermédiaire de résistance ou d'autotransformateurs est interdite.

2. *Mises à la terre.* — ART. 26. — § 1er. Il est interdit d'employer la terre comme partie d'un circuit, sauf en ce qui concerne la mise à la terre du point neutre.

§ 2. Les rails peuvent servir de conducteurs de retour à condition d'être éclissés électriquement et de ne présenter jamais un écart de tension de plus de 15 v avec une terre franche. Les files de rails parallèles doivent être reliées électriquement à intervalles n'excédant pas 100 m.

ART. 26 bis. — § 1er. Dans les installations triphasées en étoile pour lesquelles la tension de régime définie à l'article 25 ne dépasse pas 150 v, le point neutre et le conducteur, s'il y en a un, doivent être, en un point convenablement choisi, reliés électriquement à la terre, soit en permanence, soit dès que la tension de l'une des phases par rapport à la terre, mesurée sur un conducteur de fuite d'une résistance d'environ 2000 ohms, dépasse la tension étoilée.

§ 2. La réalisation de cette dernière prescription peut être assurée soit automatiquement au moyen d'un limiteur de tension, soit sur le vu d'un inducteur lumineux, soit de toute autre manière équivalente

ART. 27. — § 1er. Dans les installations de la première catégorie B², et dans celles de deuxième et de troisième catégorie, on doit relier à la terre :

1° Les bâtis et pièces conductrices des machines et transformateurs non parcourus par le courant ;

2° Les armatures et enveloppes métalliques des canalisations ;

3° Les poignées, les douilles et treillis de lampes et les pièces d'appareillage toutes les fois qu'ils ne sont pas efficacement isolés des parties sous tension ou hors de portée de la main ;

4° Les pylônes métalliques ou en béton armé, les colonnes, supports, et, en général, toutes les pièces conductrices qui risquent d'être accidentellement soumises à la tension.

§ 2. Exception est faite pour les machines établies sur un support isolant et entourées d'un plancher de service non glissant, isolé du sol et assez développé pour qu'il ne soit pas possible de toucher à la fois la machine et un corps conducteur quelconque relié au sol.

ART. 27 bis. — § 1er. Les prises de terre, ainsi que les conducteurs destinés à les réaliser doivent être distincts pour chaque catégorie de tension.

§ 2. Les conducteurs de terre doivent être mis à l'abri des dégradations ; leurs connexions doivent être fixées de manière à ne pas risquer de se desserrer ou de se détacher ; aucun fusible ou organe de disjonction ne doit être intercalé sur le conducteur de terre en dehors des interrupteurs multipolaires assurant le débranchement de toute l'installation.

§ 3. — Dans toutes installations de force et de lumière, la conductance des conducteurs de terre doit être au moins égale à celle du plus gros conducteur actif d'alimentation sans qu'il soit nécessaire de dépasser celle d'un conducteur en cuivre de 50 mm² de section.

§ 4. Dans tous les cas où il est prescrit de relier à la terre les parties métalliques d'une installation et où celle-ci comporte l'usage d'un conducteur compensateur (dans les installations à courant continu) ou neutre (dans les installations à courant alternatif), comme partie d'un circuit, ce conducteur doit nettement être différencié des autres conducteurs par sa couleur ; les jonctions et prises de courant doivent être construites de manière à empêcher matériellement de relier ou de mettre en contact par mégarde ce conducteur avec l'un des conducteurs actifs d'alimentation.

3. *Canalisations.* — ART. 28. — § 1er. Les canalisations nues appartenant à une installation de la première catégorie établies à l'intérieur des ateliers ou bâtiments, et qui sont à la portée de la main, doivent être signalées à l'attention par une marque bien apparente ; l'abord en est défendu par un dispositif de garde.

§ 2. Les enveloppes des conducteurs recouverts doivent être convenablement isolantes.

§ 3. Les conducteurs établis sur les tableaux de distribution doivent présenter des isolements et des écartements propres à éviter tout danger.

ART. 28 bis. — § 1er. Les conducteurs nus appartenant à une installation de la deuxième catégorie doivent être hors de la portée de la main sur des isolateurs convenablement espacés et être écartés des autres canalisations et des masses métalliques telles que piliers ou colonnes, gouttières, tuyaux de descente, etc. Les fils de trolley doivent être isolés de la terre, soit par un isolateur à double cloche, soit par deux isolateurs simples successifs.

§ 2. Les conducteurs qui sont établis à l'intérieur des sous-stations et postes de transformation doivent, en outre, s'il s'agit d'installations de deuxième catégorie, être protégés par un grillage ou par un écran placé à une distance d'au moins 30 cm toutes les fois qu'elles ne se trouvent pas à plus de 2,50 m de hauteur.

§ 3. S'il s'agit d'installations de troisième catégorie, ces conducteurs doivent être établis à 4 m de hauteur au moins ou protégés par des garde-corps placés à une distance horizontale d'au moins 2 m.

ART. 28 ter. — Les canalisations souterraines de deuxième ou de troisième catégorie doivent être en câbles des meilleurs modèles connus avec chemise en plomb sans soudure et armure d'acier. Ces câbles doivent être essayés en usine sous une tension alternative efficace de forme approximativement sinusoïdale et d'une fréquence comprise entre 20 et 60 p : s. Cette tension sera triple de la tension de service tant que celle-ci ne dépassera pas 20000 v et égale à la tension de service majorée de 40000 v lorsque la tension de service dépassera 20000 v. La durée d'application sera de 30 minutes et la tension d'essai sera appliquée aussi bien entre les conducteurs (si le câble comporte plusieurs conducteurs distincts), qu'entre les conducteurs et l'enveloppe de plomb.

Les câbles doivent, autant que possible, être mis à l'abri de l humidité ; ils doivent être convenablement éloignés des canalisations d'eau, de gaz ou d'air comprimé.

4. *Machines, transformateurs et tableaux.* — ART. 29. — § 1er. Les tableaux de distribution portant des pièces métalliques de deuxième ou de troisième catégorie doivent avoir sur la face avant (celle où se trouvent les poignées de manœuvre et les instruments de lecture) un plancher de service non glissant isolé du sol et assez développé pour qu'il ne soit pas possible de toucher à la fois les appareils et un conducteur quelconque relié au sol.

§ 2. Quand des pièces métalliques ou appareils de la deuxième ou de la troisième catégorie sont établis à découvert sur la face arrière du tableau, un passage entièrement libre est réservé pour accéder auxdits appareils et pièces métalliques. Ce passage doit présenter une hauteur d'au moins 2,50 m ; sa largeur minimum doit être de 2 m s'il y a des conducteurs de part et d'autre, de 1,50 m s'il n'y en a que d'un côté, de 1 m s'il est limité par des grillages protecteurs.

§ 3. L'accès de ce passage est défendu par une porte fermant à clef, laquelle ne peut être ouverte que par ordre du chef de service ou par les préposés à ce désignés ; l'entrée doit en être interdite à toute autre personne.

§ 4. Pour protéger le personnel contre les conducteurs sous tension, il doit être apposé sur les portes d'accès des pancartes-écrans très visibles mentionnant l'interdiction d'ouvrir tant que les conducteurs auxquels ils se réfèrent sont sous tension ; à défaut de ce procédé, on doit faire emploi de tout procédé donnant une sécurité équivalente.

ART. 29 bis. — § 1er. Les machines, transformateurs, tableaux et appareils de la deuxième et de la troisième catégorie ne doivent être accessibles qu'au personnel qui en a la charge.

Si ces appareils sont installés dans un local non gardé, ce local doit être fermé dans les conditions prescrites à l'article 29, paragraphe 3.

S'ils se trouvent dans un local ayant en même temps une autre destination, la partie du local qui leur est affectée est

rendue inaccessible par un garde-corps ou un dispositif équivalent; une mention indiquant le danger doit être affichée en évidence.

§ 2. Les prescriptions de l'article 29, paragraphe 2, sont applicables aux accès des machines et appareils de la deuxième et de la troisième catégorie placés à découvert.

§ 3. Les conducteurs et appareils de la deuxième et de la troisième catégorie doivent, notamment sur les tableaux de distribution, être nettement différenciés de ceux de la première catégorie par une marque très apparente, une couche de peinture par exemple.

ART. 29 ter. — § 1er. Il est interdit d'entreposer au voisinage des conducteurs sous tension des objets métalliques de dimensions telles que leur manipulation puisse créer des contacts dangereux.

§ 2. Les salles des machines génératrices d'électricité, les sous-stations, et, d'une manière générale, tous les locaux dans lesquels l'extinction accidentelle de la lumière peut présenter un danger, doivent être munis d'un éclairage de secours continuant à fonctionner en cas d'arrêt du courant.

§ 3. Dans tous les locaux où se trouvent des installations électriques de deuxième ou de troisième catégorie, on disposera en des endroits facilement accessibles des crochets isolants, des pinces isolantes ou tout autre matériel approprié pour porter secours à des personnes victimes d'un accident dû à l'électricité.

5. *Dispositions particulières à certains locaux.* — ART. 30. — § 1er. Dans les locaux destinés aux accumulateurs :

a) L'éclairage doit se faire par des lampes à double enveloppe; on ne doit pas avoir à découvert de flammes ni de corps portés au rouge;

b) Les éléments doivent être isolés du bâti, et celui-ci de la terre, par des isolants ne retenant pas l'humidité;

c) On ne doit pas pouvoir toucher à la fois deux points dont la tension diffère de plus de 150 volts; les batteries donnant plus de 150 volts doivent être entourées d'un plancher de service établi dans les conditions prescrites par l'article 27, paragraphe 2;

d) Une bonne ventilation doit assurer l'évacuation continue des gaz dégagés.

§ 2. Les lampisteries contenant des lampes à accumulateurs sont astreintes aux prescriptions des alinéas *c*) et *d*) du paragraphe 1.

§ 3. Les locomotives à accumulateurs doivent avoir leurs éléments isolés par du bois ou toute autre matière convenable.

ART. 30 bis. — Dans les locaux où il peut se produire des gaz inflammables, les installations électriques doivent être de sécurité contre le grisou ou placées à l'extérieur et isolées de l'atmosphère du local.

ART. 30 ter. — Dans les endroits où le sol et les parois sont très conducteurs, soit par construction, soit par suite de dépôts salins, soit par l'humidité, on ne doit établir à la portée de la main que des conducteurs ou appareils efficacement protégés.

6. *Mesures à prendre contre le danger d'incendie.* — ART. 31. — § 1er. Les générateurs et récepteurs établis à demeure, leurs appareils de démarrage, ainsi que les transformateurs, doivent être installés dans des locaux construits en matériaux incombustibles et ne contenant pas de matières inflammables ou être cuirassés.

§ 2. Des sacs ou seaux remplis de sable propre et sec en quantité suffisante, ou des extincteurs de capacité convenable doivent être tenus en réserve, pour permettre l'extinction des incendies.

§ 3. Lorsqu'il est fait d'usage d'appareils dans l'huile, toutes dispositions doivent être prises pour que, si une quantité importante d'huile vient accidentellement à se répandre elle soit canalisée dans une fosse d'étouffement et puisse ensuite être promptement évacuée.

ART. 31 bis. — § 1er. Des mesures doivent être prises pour éviter l'échauffement anormal des conducteurs, à l'aide de coupe-circuits, plombs fusibles ou autres dispositifs équivalents.

§ 2. Les fusibles ne doivent pas permettre la projection de matières en fusion.

§ 3. Les appareils de disjonction ne doivent pas pouvoir provoquer d'arcs permanents.

§ 4. Toute installation reliée à un réseau comportant des lignes aériennes de plus de 500 m, doit être suffisamment protégée contre les décharges atmosphériques.

7. *Appareils portatifs ou amovibles.* — ART. 32. — § 1. Les moteurs, lampes et appareils amovibles, reliés par des canalisations souples, ne peuvent être employés que dans des installations à très basse tension ou de première catégorie.

§ 2. Pour les moteurs portatifs à main et les lampes baladeuses les prescriptions de l'article 27, paragraphe 1, sont applicables sous toute tension autre que la très basse tension.

§ 3. Les conducteurs souples ne doivent pas avoir à subir d'efforts de traction nuisibles ni être exposés, à leur insertion dans les appareils ou prises de courant, à subir de flexion de nature à en détériorer l'isolant. Ils ne doivent pas comporter d'armure métallique.

§ 4. — Les conducteurs souples pour lampes baladeuses, lampes d'ateliers et moteurs doivent comporter une gaine de caoutchouc vulcanisé enrobant tous les conducteurs; l'épaisseur et la qualité de cette gaine doivent être telles qu'elles en assurent une bonne conservation de l'isolement eu égard aux conditions d'emploi.

8. *Lignes de signalisation.* — ART. 33. — Les lignes téléphoniques, télégraphiques ou de signaux particuliers aux mines ayant des installations électriques et affectées à leur exploitation qui sont montées, en tout ou partie de leur longueur, sur les mêmes supports qu'une ligne électrique de la deuxième ou de la troisième catégorie, sont soumises aux prescriptions réglant les installations de deuxième ou troisième catégorie.

Leurs postes de communication, leurs appareils de manœuvres ou d'appel doivent être disposés de telle manière qu'il ne soit possible de les utiliser ou de les manœuvrer qu'en se trouvant dans les meilleures conditions d'isolement par rapport à la terre, à moins que leurs appareils ne soient disposés de manière à assurer l'isolement de l'opérateur par rapport à la ligne.

9. *Mesures d'exploitation.* — ART. 34. — Un chef de service compétent doit être chargé de la surveillance et de l'entretien des installations électriques de l'exploitation.

Tout incident survenu dans le fonctionnement des installations doit être porté sans retard à sa connaissance.

ART. 35. — § 1er. Aucun travail, même s'il ne s'agit que d'un remplacement de lampe ne doit être exécuté sous tension à moins que les conditions d'exploitation ne rendent impossible la mise du circuit hors tension. Dans ce dernier cas les prescriptions ci-après sont obligatoires :

a) On doit employer un personnel compétent et avoir pris les précautions suffisantes pour assurer la sécurité de l'opérateur;

b) Pour les installations de deuxième ou de troisième catégorie, le travail ne doit être effectué qu'en présence d'un surveillant qualifié et conformément aux ordres exprès du chef de service.

§ 2. Sauf dans le cas de force majeure, tout travail sous tension est interdit dans les locaux humides ou à danger d'explosion.

§ 3. Les mesures relatives aux travaux sous tension doivent être prises toutes les fois qu'il s'est produit une disjonction, une mise à la terre ou un court-circuit et que l'on n'est pas certain que les parties sur lesquelles on travaille sont mises hors tension.

§ 4. Pour les travaux sur les câbles, des précautions doivent être prises afin d'empêcher la détérioration de l'isolant.

Art. 35 bis. — § 1er. Pour l'exécution des travaux hors tension, on doit avoir au préalable coupé les lignes de part et d'autre de la section à réparer ou la canalisation d'amenée de courant.

§ 2. S'il s'agit d'installation de deuxième ou de troisième catégorie, la communication ne peut être rétablie que sur l'ordre exprès du chef de service ou de son préposé et après que ce dernier a été dûment avisé par le personnel de surveillance que le travail est terminé et que le personnel est réuni au point de ralliement fixé à l'avance. Pendant toute la durée du travail, la coupure de la ligne doit être maintenue par un dispositif tel que le courant ne puisse être rétabli que sur l'ordre du chef de service ou de son préposé.

Art. 36. — Dans l'exécution de travaux au voisinage d'une tension de deuxième ou de troisième catégorie, l'ouvrier doit s'assurer d'une position solide; s'il est exposé à ce qu'un objet vienne à toucher une pièce sous tension ou que son attention puisse être détournée, la zone dangereuse doit être close ou protégée par des mesures efficaces d'isolement.

Art. 37. — § 1er. Les installations doivent être maintenues en bon état d'isolement et d'entretien.

§ 2. Les défauts d'isolement doivent être recherchés et réparés aussitôt qu'ils ont été décélés.

§ 3. Les préposés à la conduite des appareils doivent procéder chaque jour à l'examen des connexions des conducteurs de terre, des bâtis et pièces conductrices de machines et à l'examen des conducteurs souples, des appareils amovibles et de leurs fiches de prise de courant.

§ 4. — Dans les installations de première catégorie où le neutre n'est pas relié à la terre et qui comportent soit des moteurs, soit des appareils amovibles en service, on doit vérifier journellement aux tableaux de distributions qu'il n'existe pas d'écart anormal de tension entre chaque pôle ou phase et la terre; les appareils destinés à ce contrôle ne doivent être branchés que le temps strictement nécessaire.

La continuité des conducteurs de terre doit être contrôlée qualitativement aussi souvent qu'il sera utile.

Les isolements par rapport à la terre sont vérifiés au moins tous les trois mois pour les distributions établies à demeure et tous les mois pour les parties non installées à demeure.

Les isolements entre conducteurs de polarité ou de phases différentes sont vérifiés au moins tous les six mois.

Les résultats de ces vérifications et mesures sont consignés sur un registre, qui est constamment tenu à la disposition du service des mines.

Art. 38. — L'exploitant est tenu d'afficher dans un endroit apparent des locaux contenant des installations électriques à demeure :

1° Un schéma de l'installation et une instruction sur le service de celle-ci;

2° Un ordre de service interdisant au personnel non qualifié de manœuvrer les appareils, indiquant les mesures à prendre en cas d'incendie, de court-circuit, de dérangement ou d'incident de nature à causer un danger.

Pour les installations de deuxième ou de troisième catégorie, cet ordre de service doit indiquer, en outre, qu'il est dangereux et formellement interdit de toucher aux pièces métalliques ou conducteurs sous tension, même avec des gants en caoutchouc, ou de se livrer à des travaux sur ces pièces ou conducteurs, même avec des outils à manche isolant;

3° Une instruction sur les premiers soins à donner aux victimes des accidents électriques, rédigée conformément aux termes qui sont fixés par arrêté du ministre des Travaux publics et accompagnée de figures explicatives.

Art. 39. — § 1er. Dans les deux mois qui suivent la promulgation du présent règlement, l'exploitant devra adresser à l'ingénieur en chef des mines un schéma de celles de ses installations électriques de deuxième et de troisième catégorie qui sont soumises par le présent règlement à des prescriptions spéciales; ce schéma indiquera notamment l'emplacement des usines, sous-stations, postes de transformation et canalisations.

Une note jointe indiquera comment sont réalisées les prescriptions réglementaires (mise à la terre des parties métalliques, etc.) et donnera les renseignements techniques nécessaires pour assurer le contrôle de l'exécution du présent règlement (nature du courant, tension des différentes parties de l'installation, etc.).

Dans la première quinzaine de chaque année, le schéma et les renseignements qui l'accompagnent sont complétés, s'il y a lieu, par l'exploitant et les modifications sont portées à la connaissance de l'ingénieur en chef des mines.

En cas de modifications importantes ou d'installations nouvelles, leur schéma et les renseignements complémentaires sont adressés à l'ingénieur en chef des mines avant la mise en exploitation.

§ 2. Pour les installations de la première catégorie, l'exploitant tiendra tous renseignements utiles à la disposition du service des mines.

(*A suivre.*)

Sur l'application de la législation sur les assurances sociales aux pensionnés au titre militaire.

Le « Journal officiel » du 25 juillet 1930 publie, page 3173 des « Débats parlementaires, Sénat », la question et la réponse qui suivent :

8305. — M. Albert Paulin demande à M. le ministre du Travail : 1° dans quelles conditions seront appliquées les assurances sociales aux salariés, âgés de moins de soixante ans, et pourvus au titre militaire, soit d'une pension proportionnelle, soit d'une pension d'ancienneté, régie par la loi du 14 avril 1924; 2° si ces pensionnés seront couverts dans les mêmes conditions que les autres salariés des risques : maladie, invalidité prématurée, vieillesse, décès, enfin, s'ils recevront intégralement le bénéfice des assurances sociales; 3° s'ils auront droit, à âge et versement égaux, à la même pension que les autres salariés; 4° si, dans le cas où des restrictions seraient faites, ces mêmes restrictions seront applicables aux pensionnés des administrations civiles de l'Etat; 5° quelles sont les raisons qui ont motivé ces restrictions; 6° quelle situation sera faite par les assurances sociales aux pensionnés militaires, commerçants, artisans ou cultivateurs retirant de leur commerce ou de leur travail un produit annuel inférieur à 15 000 fr. (Question du 24 mars 1930.)

Réponse. — 1°, 4°, 5° et 6°. Il résulte des dispositions combinées des articles 3 et 49 de la loi du 5 avril 1928, modifiée par la loi du 30 avril 1930, que les bénéficiaires d'une retraite militaire ou civile d'ancienneté demeurent soumis à la législation qui les régit à l'égard des risques garantis par les assurances sociales. Ces retraités ne peuvent ainsi être inscrits dans l'assurance sociale, qui ne s'applique, en principe, qu'aux personnes non déjà pourvues d'un régime d'assurance par le législateur. Mais les retraités militaires proportionnels, en tant qu'ils ne bénéficient pas d'une retraite de vieillesse, peuvent être immatriculés dans l'assurance s'ils remplissent, par ailleurs, les conditions fixées par la loi; le chiffre de leur pension n'entre pas en compte pour la détermination de leur droit au bénéfice de l'assurance obligatoire ou facultative; 2° et 3° réponse affirmative en ce qui concerne les retraités militaires proportionnels.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 15. — 11 OCTOBRE 1930.

Chronique. — Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique de divers projets de normalisation, p. 553. — Bibliographie : Les statistiques quantiques et leurs applications, par Léon BRILLOUIN, p. 554; Eiserne Gittermaste für Starkstrom-Freileitungen (Pylônes métalliques en treillis pour canalisations aériennes à courant fort), par Wilhelm TAENZER, p. 554.

Section scientifique et technique. — Sur les unités magnétiques : Un plaidoyer pour la logique, par A. BLONDEL, p. 555. — A propos des supraconducteurs, par Albert TURPAIN, p. 560. — Revues, analyses et informations : Le phénomène de couronne dans l'air, p. 561 ; La conduction électronique et l'ionisation dans des champs électrique et magnétique croisés, p. 562 ; Action mécanique exercée sur un conducteur par les ondes électromagnétiques, p. 563; La susceptibilité magnétique des gaz : sa relation avec la pression, p. 564.

Section industrielle. — L'éclairage des voies publiques de la ville de Toulouse, par Maurice DAIGNAN, p. 565. — L'emploi des supports en bois dans les lignes de transmission d'énergie électrique à très haute tension, par M. ROSEAU, p. 576. — Revues, analyses et informations : Le redresseur à jet de mercure, p. 581 ; Essais en usine d'un turboalternateur de 43 750 kilovolts-ampères, p. 583; Spécification et étude des câbles à haute tension aux Etats-Unis, p. 584.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Société lyonnaise des Forces motrices du Rhône, p. 585; Anciens Etablissements Parvillée frères et Cie, p. 586.

Section de législation. — La révision des baux de force motrice des cours d'eau, par Achille MESTRE, p. 587. — Législation, jurisprudence, réglementation : Décret portant règlement des installations électriques dans les mines de combustibles (*suite et fin*), p. 589; Loi portant approbation des conventions concernant la propriété industrielle signées à La Haye le 6 novembre 1925, p. 592.

Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique de divers projets de normalisation.

— Le Comité de Normalisation de la Mécanique soumet à l'enquête publique, dans le numéro de septembre de son « Bulletin mensuel », divers projets de normalisation de brides de tuyauteries. Ces projets font suite aux normes CNM 301 à CNM 303 relatives aux dimensions de raccordement des brides et en sont le complément. Ils ont pour but de définir les dimensions des divers types de brides envisagés en tenant compte des dimensions de raccordement fixées par ces normes.

Ces dimensions, qui déterminent l'interchangeabilité des brides les unes avec les autres, étant une bonne fois fixées, il devenait possible d'entrer plus avant dans le détail de la normalisation et de choisir, type de bride par type de bride, les autres dimensions des brides. C'est ce qui est fait ici pour les brides en fonte, brides en acier coulé, brides à braser, brides mandrinées avec ou sans rivure de sécurité et brides rivées. D'autres projets seront établis ultérieurement pour les brides vissées, les brides tournantes et les divers types de brides ovales.

Les dimensions de raccordement sont celles des normes CNM 303.

D'une façon générale, les projets en question sont extrêmement voisins des normes étrangères, allemandes et suisses en particulier, tant dans un but d'unification internationale que parce que ces normes ont déjà dans une certaine mesure, du moins dans le domaine relativement restreint auquel nous nous sommes volontairement limités, la sanction de la pratique.

Ils ne s'écartent des normes étrangères que dans la mesure où les normes CNM 303 s'en écartent elles-mêmes, ou bien encore parce que les diamètres de rivets des brides rivées ont dû être mis en accord avec les normes françaises de rivets, ou parce qu'il a fallu améliorer la tenue du mandrinage par un rabattement à 45°, conformément aux résultats récents de l'expérience pratique.

Les projets CNM 309 et CNM 310 donnent les détails du mandrinage ou du rivetage dont l'application est faite aux projets CNM 331 et suivants.

Comme nous venons de le voir, on n'a prévu qu'une seule exécution de mandrinage avec rabattement à 45°, de façon à s'assurer le plus possible contre les risques de déboîtement de la bride. On remarquera que, dans les brides à collerette, la région des gorges de mandrinage ne dépasse pas le niveau de la partie pleine de la bride, afin d'éviter tout risque d'ouverture de la collerette sous les efforts de mandrinage.

Dans le projet CNM 310, les diamètres de rivets sont conformes à la norme française des rivets (CNM 26). L'écartement périphérique des rivets n'est donné que comme ordre

de grandeur et peut varier légèrement autour de cet ordre de grandeur, le nombre de rivets devant nécessairement être entier, et même, pour plus de facilité de traçage, multiple de 4.

On a indiqué, en outre, sur cette norme, la valeur de l'écartement minimum, au-dessous duquel il est recommandé de ne pas descendre, dans le cas où, pour une raison quelconque, on s'écarterait de la norme en diminuant encore l'espacement des rivets.

Dans les projets CNM 311 à CNM 313, relatifs aux brides en fonte, on a coté un bossage de joint, mais en le laissant facultatif.

Dans ces projets, comme dans ceux relatifs aux brides en acier coulé (CNM 321 et CNM 322), l'espace compris entre la collerette de la bride et l'axe des boulons est très restreint dans les trois ou quatre premières dimensions nominales, et les angles des écrous ont quelque chance de mordre sur l'arrondi de raccordement de la collerette ; aussi un lamage de l'emplacement de l'écrou ou de la tête du boulon est-il nécessaire.

Le projet CNM 322 concerne des brides à très haute pression, qui exigent des précautions spéciales au point de vue de la sécurité. Aussi, les normes allemandes ont-elles trouvé bon de spécifier la matière de ces brides.

Y a-t-il lieu de faire de même dans la norme française, ou doit-on laisser toute initiative sur ce point au constructeur?

L'acier normalisé qui se rapprocherait le plus des prescriptions allemandes est l'acier D (résistance minimum 48 kg : mm² ; allongement 24 pour 100).

Les projets CNM 326, CNM 331 à CNM 333, CNM 341, CNM 342, CNM 351 et CNM 352 concernent tous des brides rapportées. Pour ces brides, on a admis, à l'exemple des nouvelles normes allemandes, un alésage supérieur de 0,5 à 1 mm au diamètre extérieur théorique du tube. Ce dernier a, en effet, des tolérances, en plus ou en moins, assez larges, et il y a intérêt à n'avoir jamais d'alésage inférieur au tube maximum, car on évite ainsi un réalésage coûteux ; il est, au contraire, facile, au cas où le tube est trop faible, d'en augmenter légèrement le diamètre à l'extrémité à l'aide d'un mandrin, pour l'ajuster dans la bride.

Le Comité de Normalisation de la Mécanique attire l'attention des constructeurs et des fabricants sur l'importance de ces projets et sur l'intérêt qu'il y a à transmettre les observations auxquelles ils peuvent donner lieu. Toutes objections à ces projets, dont un exemplaire gratuit pourra être envoyé sur demande pendant la durée de l'enquête, devront parvenir au Comité de Normalisation de la Mécanique, 92, rue de Courcelles, Paris (8e) avant le 30 novembre 1930, date de clôture de l'enquête publique.

Bibliographie : Les statistiques quantiques et leurs applications, par Léon Brillouin, professeur à la Sorbonne (1). — Cet ouvrage étudie un aspect original des travaux scientifiques effectués, au cours des dernières années, sur les phénomènes quantiques. L'emploi des méthodes statistiques en physique a toujours été combiné à celui des méthodes analytiques et on ne saurait dire quelle est celle dont l'influence est prédominante. Certaines périodes de l'évolution scientifique se prêtent pourtant plus particulièrement aux développements des tendances statistiques. A cet égard, il est certain que l'échec partiel des travaux analytiques issus des conceptions de Bohr devait obliger les physiciens à porter leur effort dans un autre sens. Le principe d'indétermination de Heisenberg est particulièrement caractéristique de cette phase scientifique. On renonçait, du moins en partie, à l'analyse et les travaux portaient sur des données statistiques dont l'expérience nous permet le contrôle.

On sait, d'ailleurs, que ces méthodes statistiques doivent être développées en harmonie avec les données de la mécanique ondulatoire, qui, sans donner l'analyse rigoureuse, fournit cependant des éléments quantitatifs utilisables pour les études statistiques.

L'étude des statistiques quantiques, ne saurait être effectuée sans certains développements mathématiques, d'ailleurs classiques.

Dans les premiers chapitres il rappelle les définitions générales et les développements classiques sur le rayonnement thermique, sur les quanta et sur les photons. La thermodynamique statistique fait l'objet d'un chapitre spécial qui peut, d'ailleurs, être également considéré comme une introduction.

Les statistiques quantiques sont alors abordées au point de vue général, puis au point de vue des statistiques de rayonnement, des statistiques de Fermi appliquées aux électrons libres des métaux et de l'évaluation du libre parcours moyen des électrons.

Enfin, dans le dernier chapitre, l'auteur aborde l'étude statistique de l'atome quantifié, au point de vue de sa dissociation et de la probabilité de ses diverses configurations quantiques.

Dans deux notes annexes sont rappelées quelques notions d'analyse mathématique, notamment d'analyse combinatoire. — R. L.

Bibliographie : Eiserne Gittermaste für Starkstrom-Freileitungen (Pylônes métalliques en treillis pour canalisations aériennes à courant fort), par Wilhelm Taenzer (1). — Cette brochure se divise en deux parties. Dans la première sont exposés les principes du calcul des pylônes métalliques en treillis ; au début sont reproduites celles des prescriptions du Verband deutscher Elektrotechniker relatives à la construction des lignes aériennes à courant fort qui concernent spécialement les supports, puis suivent des considérations générales sur l'exécution des supports et les massifs de fondations, ainsi que des formules donnant la tension et la flèche des conducteurs.

La deuxième partie renferme quatre exemples numériques de calcul de pylônes métalliques ; dans chacun de ces exemples, l'auteur justifie les dimensions admises pour les divers éléments du support considéré en faisant ressortir l'importance des efforts et les coefficients de sécurité auxquels conduisent ces dimensions ; dans l'exposé de ces calculs l'auteur se borne à énumérer les grandeurs à déterminer et à appliquer la formule qui convient ; ce mode d'exposition permet de suivre sans peine le développement et de se rendre exactement compte de la marche à suivre dans une étude de ce genre. — A. C.

(1) Deux volumes, format 24 cm × 15,5 cm, de 404 pages, avec 47 figures dans le texte, édité par Les Presses universitaires de France, 49, boulevard Saint-Michel, à Paris (5e). Prix : relié, 125 fr les deux volumes.

(1) Une brochure, format 29,5 cm × 21 cm, de 68 pages, avec 208 figures dans le texte, édité par Julius Springer, 23, 24 Linkstrasse, à Berlin W. 9. Prix : broché, 13,50 marks.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Sur les unités magnétiques

Un plaidoyer pour la logique

Dans cet article, l'auteur commente et discute les propositions faites par la Commission électrotechnique internationale dans sa dernière session plénière au sujet des unités magnétiques, propositions qu'il considère comme contraires aux directives des fondateurs du système pratique d'unités, lesquels prévoyaient la création d'unités magnétiques cohérentes avec les unités électriques. Il montre que donner des noms aux unités magnétiques C. G. S. ne constitue aucun progrès, car cela ne fait pas disparaître les puissances de 10 des formules pratiques du champ, de la force magnétomotrice, etc., ce qui est cependant le but essentiel à atteindre et ne lui paraît réalisable que par la création d'unités magnétiques pratiques permettant de donner au circuit magnétique une complète symétrie avec le circuit électrique. Il établit ensuite un tableau d'unités remplissant ces conditions et fait voir par un exemple numérique que leur emploi ne soulève aucune difficulté. Revenant ensuite au système C. G. S., il montre qu'il serait facile de trouver pour les unités magnétiques de ce système des noms autres que des noms d'hommes afin de respecter le principe établi il y a cinquante ans que les noms d'hommes doivent être réservés aux unités du système pratique; toutefois, il estime qu'il n'est nullement utile de donner des noms spéciaux aux unités magnétiques C. G. S., d'autant moins que les unités que nous qualifions ainsi ne sont pas de véritables unités C. G. S.

Depuis quarante ans, le besoin s'est fait sentir de créer un système pratique d'unités magnétiques et la question fut discutée déjà au Congrès d'Electricité de Chicago en 1893, sans qu'on pût aboutir à une entente définitive. L'idée qui avait paru prévaloir était la simple affectation des noms de savants aux unités C. G. S. d'induction, de champ, de flux, de force magnétomotrice contrairement aux usages reconnus.

Depuis lors, la question a été compliquée par l'addition d'autres éléments par le professeur Giorgi et par d'autres. Un historique très bien étudié et remarquablement exposé de toutes les solutions envisagées a été publié récemment dans cette revue par le professeur A.-E. Kennelly (1), et le professeur Paul Janet l'a complété par des considérations fort intéressantes et une critique pénétrante de certaines erreurs (2). Je regrette de ne pouvoir me rallier aux conclusions de ces travaux, ni aux propositions de la Commission électrotechnique internationale, qui devront être discutées d'ailleurs par le Bureau international des Poids et Mesures et soumis à un congrès. Et j'espère qu'on m'excusera de penser remplir un devoir en exposant un autre point de vue pour défendre les principes qui ont dirigé les créateurs du système pratique d'unités.

(1) A.-E. KENNELLY ; Les unités du circuit magnétique, traduit de l'anglais par L. VELLARD. *Revue générale de l'Electricité*, 14 juin 1930, t. XXVII, p. 923-932.

(2) Paul JANET ; A propos de la question des unités magnétiques. *Revue générale de l'Electricité*, 14 juin 1930, t. XXVII, p. 933-934.

I. **Système pratique**. — Dès 1896, j'ai défendu (1) la solution la plus naturelle déjà préconisée par Maxwell (système Q. E. S.)(2), qui consisterait à compléter le système des unités électriques pratiques (ampère, watt, ohm) par les unités magnétiques cohérentes.

En général, les électriciens théoriciens l'ont repoussé jusqu'ici parce que l'unité de longueur cohérente dans le système pratique est le quadrant terrestre (égal à 10^9 cm), comme Maxwell l'a montré, et que les unités *cohérentes* de l'induction magnétique et de champ électrique définies en fonction du quadrant ont des valeurs par trop incommodes. (C'est pourquoi nous proposons plus loin de renoncer à la cohérence.)

Les spécialistes anglo-saxons, en particulier, préfèrent attribuer des noms d'hommes aux unités C. G. S. de magnétisme pour les mettre sur le même pied que les unités du système pratique des grandeurs électriques (3). Mais alors on est obligé de conserver l'emploi

(1) A. BLONDEL ; Sur la question des unités magnétiques. Communication au Congrès de Carthage (1896) de l'Association française pour l'Avancement des Sciences, publiée dans *L'Eclairage électrique*, 20 juin 1896, t. VII, p. 529-536.

(2) Rappelons que dans cette abréviation, employée par M. Kennelly dans l'étude précitée, les lettres Q et S désignent respectivement le quadrant terrestre et la seconde ; quant à la lettre E, il semble qu'elle désigne la première lettre du mot anglais « eleventh » qui signifie onzième et rappelle ainsi que l'unité de masse dans ce système d'unités vaut 10^{-11} gramme (Note de la Rédaction).

(3) On oublie dans ce cas que l'adoption de noms d'hommes a eu pour seul but de *distinguer* entre eux les deux systèmes d'unités et d'éviter des confusions ; c'est un singulier manque de logique.

des multiplicateurs 10^{-1}, 10^{-8}, 10^{-9} et de les introduire dans les formules pour ne pas les oublier dans les calculs numériques. Ces formules deviennent ainsi des *équations hybrides*, d'une forme inusitée en physique, et qui sont le scandale de l'électrotechnique, car les relations entre grandeurs devraient rester indépendantes des unités.

Le système pratique a précisément eu pour but d'éviter ces additions de puissance de 10, et ce desideratum conditionne, à notre avis, d'une façon *prépondérante* tout choix d'unités. On le sent si bien, sans vouloir l'avouer, que, pour éviter le facteur 10^{-8} dans le calcul des forces électromotrices, la Commission électrotechnique internationale propose de définir à côté du maxwell (définissant l'unité C. G. S. de flux) un « pramaxwell » égal à 10^{8} maxwells. Ce « pramaxwell » est un hommage forcé rendu au système pratique, au moment même où l'on prétend vouloir l'amputer de ses unités magnétiques.

Mais la solution ainsi proposée est incomplète, car elle n'a pas d'unité de réluctance et elle est incohérente, non plus seulement avec le système pratique, mais encore avec *les principes mêmes* de la nomenclature établie par les fondateurs du système C. G. S. et qui sont les suivants : 1° pas de noms d'hommes pour les unités C. G. S., mais seulement pour les unités pratiques; 2° pas d'autres préfixes multiplicateurs que déca, kilo, méga, ou d'autres analogues pour des multiples de 10^{+3} (1).

Le nouveau système d'unités proposé est donc un système doublement « hérétique » par rapport au système des unités électriques adopté par le Congrès international des Electriciens de 1881. En outre, il ne sert à rien, car il ne fait que changer les étiquettes du système C. G. S. auxquelles on est très bien habitué depuis cinquante ans, sans simplifier les équations hybrides (2).

D'ailleurs, et c'est le côté piquant de la situation présente, les pays qui ont insisté le plus pour l'attribution de noms d'hommes aux unités C. G. S. et spécialement pour les unités secondaires applicables à la mesure des grandeurs dérivées dans la définition desquelles figurent des longueurs ou des surfaces, sont les mêmes qui se sont opposés absolument à des propositions exactement semblables relatives aux unités secondaires photométriques. Nous les avons vus en 1928 refuser l'attribution de noms aux unités C. G. S. d'éclairement, de brillance et de radiance, demander en outre qu'on se contentât de définir les unités dérivées en fonction des unités fondamentales correspondantes et d'une unité de longueur quelconque.

Plusieurs de ces unités hybrides sont d'usage courant chez tous les électriciens qui ont fait, semble-t-il, de l'hybridation sans le savoir, comme M. Jourdain faisait de la prose. Ce sont : pour la densité de courant, l'ampère par centimètre carré; pour le gradient de potentiel, le volt par centimètre ; pour la résistivité, le microhm-centimètre; pour la quantité d'électricité, l'ampère-heure et pour la quantité d'énergie, le kilowatt-heure qui incorporent un facteur 3600. On peut y ajouter la *puissance massique* exprimée en watts par kilogramme d'accumulateur (et non par $\frac{1}{10^{11}}$ gramme). Ce sont là des extrapolations *nécessaires* du système pratique et toute critique de ces solutions ne peut avoir qu'un caractère purement académique et stérile. D'ailleurs, le même phénomène spontané de l'hybridation s'est produit en photométrie, où l'on exprime depuis quarante ans la brillance en bougies par millimètre carré ou par centimètre carré, bien que l'unité de longueur normale en photométrie soit le mètre.

Cette manière d'introduire dans les unités *dérivées* une unité de temps ou de longueur appropriée à chaque problème ne peut nuire à la cohérence des unités fondamentales, puisque ce temps ou cette longueur sont explicitement spécifiés chaque fois. Au contraire, cela rend les unités beaucoup plus souples et beaucoup plus fécondes en applications pratiques. Qui songerait à imposer le watt-seconde ou le joule aux distributeurs d'énergie électrique?

Pour pouvoir appliquer la même solution aux unités magnétiques pratiques, il suffit simplement de renoncer à ce postulat, tout à fait arbitraire, que l'induction serait une grandeur fondamentale et de même le champ magnétique. Ce n'est là qu'un *préjugé* inopérant. En fait, l'induction n'est qu'un flux par unité de surface, et le champ magnétique n'est qu'un gradient de potentiel magnétique ; ce sont donc des *grandeurs dérivées*, ne justifiant que l'emploi d'*unités dérivées*.

Il serait rigoureusement logique, et très suggestif au point de vue scientifique, d'utiliser la symétrie remarquable que J. Hopkinson a établie entre le circuit magnétique et le circuit électrocinétique, pour établir un complet parallélisme entre les grandeurs et unités électriques fondamentales et les grandeurs et unités magnétiques fondamentales : potentiel magnétique (ou force magnétomotrice), flux, réluctance.

L'induction, le champ magnétique, la réluctivité deviennent des grandeurs secondaires ou dérivées et leurs unités peuvent donc être hybridisées, tout comme en électrocinétique et parallèlement, *afin de ne pas hybridiser les équations*, condition que j'estime *essentielle*.

(1) J'ai montré d'ailleurs autrefois (Communication au Congrès de Boulogne de l'Association française pour l'Avancement des Sciences (1899) et analysée dans *L'Eclairage électrique*, 7 octobre 1899, t. XXI, p. 7-11), que si l'on avait créé deux préfixes pour 10^{9} et 10^{-9}, on aurait pu faire l'économie du système pratique et donner des noms simplement au système C. G. S. Mais on ne peut songer à revenir sur le passé et il faut désormais se contenter de respecter scrupuleusement les règles fondamentales des créateurs du système C. G. S. et du système pratique.

(2) Cela nous rappelle le mot de Murat, roi de Naples, à qui l'on proposait de changer les couleurs des uniformes de ses soldats. Dans un langage un peu brusque, il répondit que cela lui était bien égal, car ce changement ne changerait pas la valeur militaire de ceux qui portaient ces uniformes. Le changement d'uniforme des unités C. G. S. ne leur enlèvera pas leurs accessoires gênants 10^{-7}, 10^{-1}, 10^{-9}. *Alors à quoi bon?*

Pour compléter ce parallélisme, il est intéressant d'introduire la perméance comme inverse de la réluctance, en choisissant pour l'une ou l'autre un nom d'unité réversible.

Sans rien préjuger du choix des noms d'unités qui appartient seulement à un congrès international de physiciens et d'électriciens, supposons qu'on adopte ceux de Oersted, Maxwell, Weber, qui ont été souvent envisagés à juste titre. Celui de Weber se prête au retournement ; supposons qu'on l'adopte pour la réluctance, qui est d'un plus grand usage que la perméance ; on obtient le tableau comparatif I des grandeurs et unités pratiques fondamentales et dérivées (hybrides).

TABLEAU I.

ÉLECTROCINÉTIQUE			MAGNÉTISME		
Grandeurs.	Unités.	Rapport aux unités C.G.S.	Grandeurs.	Unités.	Rapport aux unités C.G.S.
Potentiel (ou force électromotrice)	Volt	10^{8}	Potentiel (ou force magnétomotrice)	Oerst (ed)	10^{-1}
Courant	Ampère	10^{-1}	Flux	Max (well)	10^{-8}
Résistance	Ohm	10^{9}	Réluctance	Web (er)	10^{-9}
Conductance	Mho	10^{-9}	Perméance	Rebew	10^{9}
Gradient de potentiel	Volt : cm	10^{8}	Gradient, ou intensité de champ magnétique	Oerst : cm	10^{-1}
Densité de courant	Ampère : cm²	10^{-1}	Induction	Max : cm²	10^{-8}
Résistivité	Ohm-cm	10^{9}	Réluctivité	Web-cm	10^{-9}
Conductivité	Mho : cm	10^{-9}	Perméabilité	Rebew : cm	10^{9}

Dans ce tableau, on donne à la réluctance le nom de web. La réluctance est définie comme le quotient de la force magnétomotrice par le flux; et la réluctivité comme le quotient du gradient par l'induction. Elle a donc pour unité hydride le oerst par centimètre divisé par le max par centimètre carré, c'est-à-dire le $\frac{\text{oerst}}{\text{max}}$ centimètre ou web-centimètre.

On remarquera que la réluctivité de l'air ou du vide est alors 10^{9} web-cm ou 1 000 mégaweb-cm, qui correspond à 1 dans le système C. G. S. Comme la définition de la réluctivité du vide est *arbitraire*, cela ne peut soulever la moindre objection ; il suffit de se le rappeler.

Les valeurs des unités magnétiques ainsi définies seraient modifiées très facilement par les préfixes usuels. Une induction de 10 000 unités C. G. S. se traduit par 0,100 millimax : cm² ou 0,0001 max : cm² ; un flux de 10 000 unités C. G. S., par 0,0001 max. Un champ produit par un enroulement portant 1 000 ampères-tours par centimètre a une intensité de

$$4\pi \times 1\,000 = 12\,560 \text{ oerst : cm } (^1).$$

Contrairement à la confusion qui a duré longtemps entre le gauss, unité C. G. S. d'induction et le gauss, unité C. G. S. de champ magnétique, il n'y a ici aucun risque de confondre l'unité d'induction (max : cm²) avec l'unité de champ (oerst : cm).

Pour éclaircir l'emploi des unités magnétiques du tableau I, considérons une bobine de self inductance ayant un noyau de longueur $L = 100$ cm, de section $S = 30$ cm² (section utile, isolant déduit) coupé par un entrefer $e = 8$ mm, et cherchons, en négligeant la résistance électrique, le nombre de spires n et le courant efficace I nécessaire pour pouvoir brancher cette bobine sur un réseau de tension $U = 220$ v, à 50 p : s, avec une induction maximum dans le fer, $B = 100$ micromax : cm² ou 0,10 millimax : cm² (10 000 unités C. G. S.). On a pour le flux

$$\Phi = BS = \frac{0{,}10 \times 30}{10^{3}} = 0{,}003 \text{ maxwell.}$$

Si l'on appelle H_1 et H_2 les gradients magnétiques (intensités de champ) nécessaires pour produire l'induction

$$B = \frac{0{,}10}{1\,000} \text{ max : cm}^2,$$

respectivement dans le fer et dans l'air, on a les deux équations des tensions (1) et des forces magnétomotrices (2)

$$U = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f n S B = 4{,}44 \times 50 \times 30 \times \frac{0{,}100}{10^{3}} n = 220 \text{ v}, \quad (1)$$

d'où

$$n = \frac{220\,000}{660} = 330 \text{ spires,}$$

(1) Je suis absolument hostile à la « rationalisation » de la formule $\mathcal{F} = 4\pi ni$, par la division de l'unité correspondante par $\frac{1}{4\pi}$. Car cette unité devient alors baroque et la formule *perd son sens physique*. Le facteur 4π introduit dans l'étude du feuillet magnétique est à sa place réelle dans la formule et non ailleurs.

puis

$$F = 4\pi n I \sqrt{2} = H_1 e + H_2 e = H_1 e + \rho B e, \qquad (2)$$

en désignant par ρ la réluctivité de l'air (1).

Sur la courbe d'aimantation du fer, tracée avec B pour ordonnées et H comme abscisses, on lit, par exemple, pour $B = 0{,}10$ millimax : cm², $H = 50$ oersts : cm. On sait, d'autre part, que pour l'air $\rho = 10^9$ webs-cm.

On a donc, en substituant,

$$4\pi n I \sqrt{2} = 50 \times 100 + 10^9 \times \frac{0{,}10}{1\,000} \times 0{,}8$$

$$= (5\,000 + 80\,000) \text{ oersts},$$

d'où

$$I = \frac{80\,500}{12{,}56 \times 1{,}41 \times 330} = \frac{80\,500}{5\,840} = 13{,}8 \text{ A}.$$

La réluctance du circuit magnétique sera

$$R = \frac{80\,500 \text{ oersts}}{0{,}003 \text{ max}} = 26\,833\,333 \text{ webs}.$$

L'impédance sera

$$\frac{4\pi n^2}{R} = \frac{12{,}56\,(330)^2}{26\,833\,333} = 5{,}11 \text{ millihenrys}.$$

Les calculs sont donc très faciles au moyen d'équations strictement cohérentes.

II. **Systèmes analogues au système pratique.** — Les systèmes de Giorgi, de Bennett, etc., et les deux autres analogues dont le professeur Kennelly a montré la possibilité (il suffit qu'ils satisfassent à la condition que la puissance y soit égale à 10^7 ergs : s), n'ont, semble-t-il, qu'un intérêt théorique. Car leur adoption entraînerait un remaniement formidable de tous les noms d'unités des équations hybrides, etc., et rendrait presque illisible l'énorme littérature électrique écrite depuis 50 ans. La nécessité d'attribuer à l'eau une densité différente de 1 est aussi très gênante, par rapport à la physique générale.

Qu'on me permette de faire aussi observer que ces systèmes sont inutiles et que, le jour où on voudrait supprimer le système pratique et unifier toutes les unités, le moyen le plus simple et le plus commode serait de donner des noms à un plus grand nombre d'unités C. G. S. et d'introduire comme je l'ai expliqué en 1899 (1) de nouveaux multiplicateurs ou démultiplicateurs, puissances de 10.

Ce qui manque en effet au système C. G. S. pour un emploi plus étendu, c'est de pouvoir utiliser facilement des nombres allant jusqu'à 10^{12} unités C. G. S. au lieu de 10^6 seulement comme aujourd'hui ; il suffit pour cela de créer des préfixes pour 10^9, 10^{12}, 10^{-9}, 10^{-12}, car dans les intervalles de l'échelle 10^3, 10^6, 10^9, 10^{12}, on peut utiliser des nombres de trois chiffres seulement, donc très maniables. J'ai proposé les préfixes suivants tirés du grec comme méga et micro

Hyper $= 10^{12}$	Hypo $= 10^{-12}$
Ana $= 10^9$	Cata $= 10^{-9}$

(ces derniers déjà connus dans anode et cathode).

Il est regrettable que les créateurs du système C. G. S. n'y aient pas songé, car ils auraient pu ainsi facilement éviter le besoin du système pratique. Si on appelait « ten » l'unité C. G. S. de tension, l'anaten représenterait 10 v, unité aussi pratique que le volt actuel, plutôt trop petit pour les fortes tensions de distribution modernes. De même en appelant « rés » l'unité C. G. S. de résistance, l'ohm deviendrait l'« anarés ».

Mais, comme on va le voir les systèmes électriques et magnétiques dits C. G. S. n'ont eux-mêmes qu'un caractère provisoire.

III. **Système C. G. S.** — Comme on l'a dit plus haut, la nécessité de donner des noms aux unités C. G. S. magnétiques n'apparaît guère, puisqu'on s'en passe admirablement depuis cinquante ans, tout en employant constamment ces unités.

Cela tient d'abord à ce que l'on a dressé des tables donnant directement B en fonction des ampères-tours par centimètre, $\left(\frac{ni}{l}\right)$, et inversement, et que, par conséquent, on ne s'occupe ni de 4π, ni de la force magnétomotrice C. G. S. Ensuite B ne varie que dans des limites assez restreintes, 500 à 25000 unités C G.S., de sorte qu'on ne risque aucune erreur quand on oublie de spécifier l'unité, généralement sous-entendue.

Une nomenclature nouvelle sera donc un peu superfétatoire. Des noms sont plutôt utiles pour les unités *pratiques* afin de les distinguer des noms nouveaux d'unités C. G. S.

Sous cette réserve, il semble parfaitement possible de créer pour ces dernières unités des noms autres que les noms d'hommes, afin de respecter le principe. On n'est pas limité au vocabulaire grec ; on a le droit de recourir à son frère, le vocabulaire latin, et on l'a déjà fait dans le domaine de la photométrie, où l'unité de flux est le *lumen* et l'unité métrique d'éclairement, le *lux*.

En outre, nous pouvons, suivant l'usage moderne

(1) Le terme ρBe est semblable en magnétisme au produit $r\Delta e = U$ qui donne la chute de tension produite par une densité de courant Δ dans un conducteur cylindrique de longueur e et de résistivité r. Si r est exprimé en ohms-centimètres, Δ, en ampères par centimètre carré, e, en centimètres, U se trouve exprimé en volts.

ρBe se trouve de même exprimé en oersts quand e est exprimé en centimètres, ρ en webs-centimètres et B en max par centimètre carré. Il n'y a là aucune innovation par rapport aux calculs usuels en électrocinétique.

(1) A. Blondel ; Sur la simplification possible des unités électriques. Communication faite au Congrès de Boulogne-sur-Mer de l'Association française pour l'Avancement des Sciences ; analysée dans *L'Eclairage électrique*, 7 octobre 1899, t. XXI, p. 7-11.

administratif, commercial et social, former des mots composés abrégés (1).

Dès lors, pourquoi ne pas adopter des dénominations telles que les suivantes, où « ma » ou « m » désigne la première syllabe ou lettre de « magnétisme ».

Unité de potentiel magnétique, potma ou potm;

Unité de flux magnétique, fluma ou flum;

Unité de réluctance, relma ou relm;

Unité de perméance, perma ou perm.

Les unités dérivées s'obtiendraient en ajoutant centimètre, ou par centimètre suivant les cas.

Si on tient à des noms indépendants pour le champ et l'induction, on pourrait choisir :

Campum ou campma pour l'unité de champ;

Indum on induma pour l'unité d'induction.

Le problème de dénommer les unités C. G. S. sans faire appel à des noms d'homme n'est donc pas d'une solution difficile, quand on fait appel aux racines latines, comme en photométrie.

Mais le plus simple pour les unités magnétiques C. G. S. serait de les laisser dans le statu quo suivant l'adage du bon sens antique « quieta non movere ».

Depuis cinquante ans, on a pris l'habitude du système C. G. S. sans noms spéciaux, pourquoi ces noms deviendraient-ils nécessaires en 1930? Ils n'ont de raison d'être, à mon sens, que pour des unités étrangères au système C. G. S. et qu'il importe de distinguer de ce système.

Il ne faut pas oublier d'ailleurs (et le professeur anglais Rücker l'a signalé avec insistance il y a déjà une quarantaine d'années) (2) que les unités magnétiques dites C. G. S. ne sont pas réellement des unités C. G S., c'est-à-dire pouvant être évaluées *uniquement* au moyen des unités de la mécanique et que Ch.-Ed. Guillaume a justement insisté sur l'importance de ces considérations et s'y est rallié dans son ouvrage classique « Unités et étalons » (3) publié peu d'années avant le Congrès de 1900.

On ne parvient, en effet, à les ramener au système C. G. S. qu'en faisant les hypothèses absolument *arbitraires*, que la perméabilité magnétique du vide et le pouvoir inducteur du vide sont des nombres purs sans dimension physique, hypothèses qui sont certainement absurdes.

En réalité, on ne pourra parler d'unités magnétiques C. G. S. que le jour où l'on aura une théorie mécanique des phénomènes électriques. On peut espérer que ce jour viendra tôt ou tard, car, comme l'écrivait H. Poincaré dans l'une de ses préfaces (4), si Maxwell n'a pas donné une telle théorie, il a du moins démontré qu'elle est possible. D'ailleurs, déjà en 1893, mon ami M. J. Blondin avait mis sur pied une esquisse d'une théorie mécanique en montrant que les équations du mouvement des fluides peuvent être mises sous forme des équations du champ magnétique de Maxwell et les conclusions de cette étude publiée en 1894 dans « La Lumière électrique » (1), se trouvèrent en parfaite concordance avec celle d'une étude plus complète faite à la même époque par le mathématicien anglais Joseph Larmor (2).

Les grandeurs électriques et magnétiques ont alors une signification mécanique très simple : le champ magnétique est une vitesse; l'induction, une quantité de mouvement par unité de volume ; la perméabilité est une densité ; le pouvoir inducteur est l'inverse d'un coefficient d'élasticité ; le champ électrique est une pression ; la résistivité est un coefficient de viscosité, etc. Comme toutes ces grandeurs mécaniques ont des unités C. G. S., les grandeurs électriques correspondantes en sont aussi.

IV. **Conclusion.** — En résumé : 1° Le but qu'on doit se proposer dans le choix d'unités magnétiques pour les besoins de l'électrotechnique n'est pas, croyons-nous, de changer l' « uniforme » des unités C. G. S., qui depuis cinquante ans s'est montré très suffisant pour en permettre le maniement facile. Un changement de noms ne change rien à leur grandeur et à leur emploi et ne fait pas disparaître l'inconvénient qui résulte actuellement de la *dualité* des systèmes, c'est-à-dire de l'emploi *simultané* d'unités C. G. S. et d'unités Q. E. S. ;

2° L'objet essentiel qu'il faut avoir en vue est, nous semble-t-il, de *supprimer la dualité* des unités afin de faire disparaître les *formules hybrides* qu'elle rend nécessaires et qui rendent les relations théoriques dépendantes des unités par des facteurs 10^{-1}, 10^{-8}, 10^{-9} ;

3° Ce but ne peut être atteint qu'en donnant des noms aux unités magnétiques *fondamentales* de flux; potentiel et réluctance (ou perméance) magnétiques, cohérentes avec les unités électriques pratiques fondamentales (ampère et volt) et en permettant de traiter le *circuit magnétique* d'une façon symétrique par rapport au *circuit électrique*;

4° Ce but peut être atteint facilement par la distinction entre unités *fondamentales* et unités *dérivées*, et en appliquant à ces dernières l'« hybridation » qui a conquis droit de cité en électricité depuis cinquante ans, et qui consiste à remplacer dans ces unités dérivées le quadrant par le centimètre, sans qu'il en résulte le moindre inconvénient pratique. Le système pratique n'a pour but que de faciliter les applications et non de faire con-

(1) D'ailleurs déjà M. Boucherot a créé des vocables de ce genre pour ses appareils : « caposcilla », « motoscilla ». On ne ferait que suivre son exemple.

(2) A.-W. Rucker; The suppressed dimensions of physical magnitudes. *The philosophical Magazine*, février 1889.

(3) Ch.-Ed. Guillaume. *Unités et étalons*. Encyclopédie des aides-mémoire, publiée sous la direction de Léauté; édité par la librairie Gauthier-Villars et Cie, à Paris.

(4) H. Poincaré. *Electricité et optique* : I. Les théories de Maxwell et la théorie électromagnétique de la lumière. Leçons professées à la Sorbonne en 1888 et rédigées par J. Blondin. Introduction, page III à X de la seconde édition (1901) publiée par Georges Carré et C. Naud.

(1) J. Blondin ; Théorie tourbillonnaire de l'électrodynamique. *La Lumière électrique*, 2, 23 et 30 juin 1894, t. LII, p. 405-416, 570-577 et 608-614,

(2) J. Blondin ; La théorie dynamique de l'éther électrique et luminifère de J. Larmor. *La Lumière électrique*, 26 mai 1894, t. LII, p. 351-360.

currence, au point de vue théorique pur, au système C. G. S.

Si on refuse d'introduire de telles unités dérivées, pour le magnétisme par amour du « quadrant », il faudra alors en bonne logique obliger désormais les électriciens à évaluer les densités de courant en ampères par quadrant carré, le gradient du potentiel en volts par quadrant, les résistivités en ohms-quadrants, les puissances massiques en watts par 10^{-11} gramme, et les fournitures d'énergie en kilojoules;

5° En ce qui concerne le système C. G. S., les noms d'hommes proposés qui créent une dualité avec le système pratique pourraient être remplacés par des vocables abrégés tels que fluma, induma, campma, perma, relma. Mais n'est-il pas plus simple de s'en tenir aux unités actuelles anonymes, qui ont suffi pendant cinquante ans?

6° Au lieu de chercher à unifier les systèmes d'unités en créant de nouveaux systèmes d'unités intermédiaires fondés sur de nouvelles unités de longueur, de masse, de densité et qui rendraient impossible l'utilisation de toute la littérature existante, il serait bon d'attendre qu'on connaisse les dimensions physiques de la perméabilité et du pouvoir inducteur du vide, de rendre universel le système C. G. S. lui-même en lui attribuant (alors seulement) des noms spéciaux d'unités et en créant quatre nouveaux préfixes : ana, hyper, cata, hypo, pour désigner 10^{9}, 10^{12}, 10^{-9}, 10^{-12}.

D'ici là nous ne pouvons vivre que dans le *provisoire* et l'*empirisme*, suffisamment représentés par le système « pratique » complété comme on vient de l'exposer.

A. Blondel,
Membre de l'Institut.

A propos des supraconducteurs

Dans deux articles publiés dernièrement (*), les auteurs, M. Léon Bloch, d'une part, et M. A. Boutaric, d'autre part, ont établi un rapprochement entre les résultats des récents travaux de M. Kapitza et ceux obtenus antérieurement par Kamerlingh Onnes et W. Tuyn sur la résistance électrique des conducteurs aux basses températures. M. Turpain relève, dans les lignes qui suivent, les conclusions auxquelles sont conduits ces auteurs et qui lui paraissent trop rapides.

Deux récents articles sur « La résistance des métaux dans le champ magnétique » et sur « L'état actuel de nos connaissances sur les supraconducteurs », le premier de M. Léon Bloch (1), le second de M. Boutaric (2) reproduisent un tableau qui compare la résistance limite $\frac{R_l}{R_0}$ à la résistance additionnelle $\frac{R_a}{R_0}$; R_l étant la résistance à la température T de l'hydrogène liquide; R_0, la résistance à la température de 0°C (pratiquement température ordinaire); $\frac{R_a}{R_0}$ ou $\frac{\Delta R_0}{R_0}$, l'ordonnée à l'origine des courbes de M. Kapitza; R_a, la résistance additionnelle de M. Kapitza.

M. Léon Bloch, en présentant ce tableau, remarque que les nombres observés par Kamerlingh Onnes et M. W. Tuyn sont compris entre deux limites, en général assez voisines, limites inscrites dans la première colonne du tableau.

« On constate, ajoute M. Léon Bloch, un parallélisme frappant entre les deux séries de nombres (2e colonne du tableau). Les résistances R_a de M. Kapitza sont presque toujours comprises entre les résistances résiduelles de K. Onnes; leur valeur numérique est souvent presque la même. La variation, lorsqu'elle existe, est la même dans les deux cas. »

« La conclusion s'impose ajoute-t-on; il y a identité entre la résistance additionnelle R_a de M. Kapitza et la résistance résiduelle R_l trouvée par K. Onnes à la température de l'hydrogène liquide. »

L'article de M. Boutaric sur la supraconductibilité contient le même tableau et répète, à son sujet, les mêmes déductions.

Or, si nous reproduisons ledit tableau et qu'en deux colonnes intermédiaires, nous extrayons les moyennes arithmétiques des limites extrêmes des nombres de K. Onnes, ainsi que les moyennes arithmétiques des limites extrêmes des nombres de M. Kapitza, puis, que nous comparions ces deux moyennes nous obtenons les cinquième et sixième colonnes du tableau I qui expriment les écarts en centièmes des deux sortes de nombres :

Ainsi, les résistances additionnelles R_a de M. Kapitza, loin d'être identiques aux résistances résiduelles R, trouvées par K. Onnes, en diffèrent de -80 à $+178$ centièmes pour les 14 corps examinés.

A la vérité, l'étude de M. Léon Bloch s'achève en signalant que les théories modernes de la conductibilité sont aussi nombreuses qu'infidèles aux faits observés. Peut-on vraiment énoncer que les nombres observés par K. Onnes et M. Tuyn sont compris entre des « limites généralement assez voisines » lorsque, sur douze données deux seulement (Tl et Sn) ne diffèrent que de 0,1 environ, alors que les dix autres présentent

(*) Léon Bloch; La résistance électrique des métaux dans le champ magnétique. *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 15 mars 1930, t. XLI, p. 135-145, analysé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 31 mai 1930, t. XXVII, p. 851-855.

A. Boutaric; L'état actuel de nos connaissances sur les supraconducteurs. *Revue générale de l'Electricité*, 2 août 1930, t. XXVIII, p. 165-172.

(1) Léon Bloch. *Loc. cit.*

(2) A. Boutaric. *Loc. cit.*

TABLEAU I. — *Valeurs comparées des résistances résiduelles de quelques métaux d'après K. Onnes et M. Tuyn et de leurs résistances additionnelles d'après M. Kapitza.*

MÉTAL	RÉSISTANCES LIMITES $\frac{R_l}{R_0}$ K. Onnes et Tuyn	MOYENNES ARITHMÉTIQUES M_0	RÉSISTANCES ADDITIONNELLES $\frac{R_a}{R_0}$ M. Kapitza	MOYENNES ARITHMÉTIQUES M_k	DIFFÉRENCES $\Delta = M_k - M_0$	DIFFÉRENCES en centièmes de M_0
Cu	0,024—0,0015	0,01275	0,023—0,018	0,0205	0,00775	60
Li	0,007	0,007	0,01	0,01	0,003	43
Ag	0,023—0,0054	0,0142	0,015—0,013	0,014	—0,0002	— 1,4
Au	0,045—0,008	0,0265	0,016—0,012	0,011	—0,0125	— 47
Zn	0,016—0,007	0,0115	0,05 —0,014	0,032	0,0205	178
Cd	0,024—0,02	0,022	0,027—0,009	0,018	—0,004	— 18
Hg	0,049	0,049	0,037	0,037	—0,012	— 24
Al	0,06 —0,04	0,05	0,024—0,011	0,0175	—0,0325	— 65
In	0,06 —0,03	0,045	0,032	0,032	—0,013	— 29
Tl	0,03 —0,029	0,0295	0,0163	0,0163	—0,0132	— 45
Sn	0,012—0,011	0,0115	0,018	0,018	0,0065	56
Pb	0,047—0,03	0,0385	0,04	0,04	0,0015	4
Pd	0,051—0,09	0,03	0,006	0,006	—0,024	— 80
Pt	0,02—0,006	0,013	0,011	0,011	—0,002	— 15

des différences variant de 20 à 24 (Cd), de 8 à 45 (Au), de 3 à 6 (In), voire de 15 à 240 (Cu) et 54 à 230 (Ag) ?

Et quelle nécessité de rapprocher deux résultats, les résistances limites R_l de K. Onnes et les résistances additionnelles R_a de M. Kapitza, et d'écrire au sujet de ces nombres rapprochés : « La conclusion s'impose : résistances additionnelles et résistances résiduelles sont identiques », alors que l'identité soulignée est une différence allant du double au triple environ de l'une des deux quantités?

De telles inexactitudes ne soulignent-elles pas l'abus vraiment inacceptable des théories aussi multiples qu'infondées? et, partant, inutiles comme l'est le rapprochement que les faits invoqués mêmes interdisent.

Albert TURPAIN,
Professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Poitiers.

Revues, analyses et informations

Le phénomène de couronne dans l'air (1).

1. INTRODUCTION. — Depuis 1924 les principaux travaux relatifs à la décharge en couronne concernent la charge d'espace et les auteurs ont cherché à fixer les limites de l'étendue de cette charge à partir du conducteur à haute tension qui la provoque. Ils se sont occupés également de la variation de ces limites en fonction de l'énergie perdue et du courant mis en jeu dans ce phénomène.

Une contribution importante a été apportée à la solution de cette question par Holm, qui a étudié les pertes par effet de couronne et par Willis qui s'est attaché à l'étude du courant de la décharge en couronne. Tous deux ont montré que l'importance du phénomène était en raison directe de la mobilité des ions libérés et ils ont souligné la difficulté de déterminer avec précision l'exacte valeur de ces mobilités.

Dans le présent article, l'auteur expose les résultats d'expériences entreprises sur la question.

2. CONDITIONS ET RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES. — La décharge en couronne était provoquée, à la pression atmosphérique, sur un fil de cuivre dur de 2,04 mm de diamètre, placé dans l'axe de cylindres métalliques dont le diamètre était respectivement égal à 155, 61, 30,5 et 15 cm de diamètre. D'après la théorie, plus ce diamètre était élevé et moins grande était la chargequi pouvait atteindre le cylindre pendant une demi-période.

La fréquence ayant elle aussi une importance sur la charge atteinte en un temps donné, des essais comparatifs ont été effectués avec des courants de forme sensiblement sinusoïdale aux fréquences de 30, 40, 50 et 60 p : s.

La puissance perdue était mesurée au moyen d'un wattmètre du type à quadrants. Des essais préliminaires avaient montré que l'erreur de mesure avec cet appareil était de 2 pour 100, sauf pour les très faibles valeurs (quelques dixièmes de watt.)

Les résultats de ces essais sont indiqués sur la figure 1 sur laquelle les courbes n'ont pas été prolongées jusqu'à l'origine (afin d'éviter la confusion des traits) bien que les essais aient été faits pour les valeurs correspondantes.

On constate que lorsque le diamètre du cylindre diminue, pour un excès de tension u donné au-dessus de la tension critique (qui correspond à l'abscisse O de la figure) les pertes croissent visiblement plus vite que l'inverse de la racine carrée de la distance, ainsi que le voudrait la loi indiquée par Peek. Ceci est particulièrement exact pour la courbe qui correspond au cylindre de plus petit diamètre, courbe qui croît beaucoup plus rapidement que les trois autres.

(1) Sigmund-K. WALDORF. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, avril 1930, t. XLIX, p. 272-276, 2 000 mots, 6 figures.

Les valeurs moyennes du courant de décharge pour les deux demi-ondes positive et négative ont été mesurées, pour chaque expérience, avec un cylindre de diamètre différent,

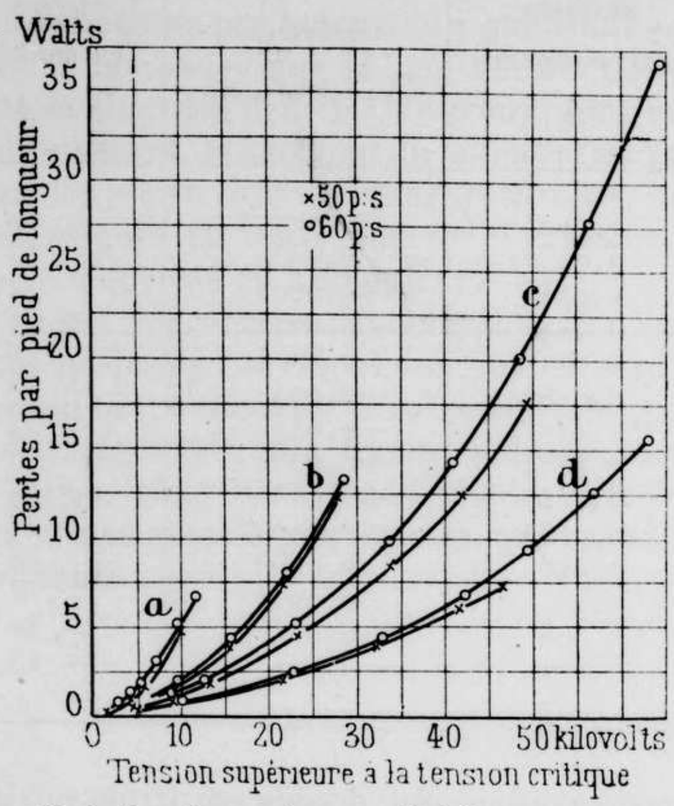


Figure 1.—Variation des pertes par effet de couronne en fonction des dimensions du cylindre utilisé dans les expériences : a, cylindre de 15 cm de diamètre; b cylindre de 30 cm; c, cylindre de 61 cm; d, cylindre de 155 cm.

pour des tensions aux fréquences de 30, 40, 50 et 60 p : s. Pour le cylindre de 155 cm, pour lequel aucune charge

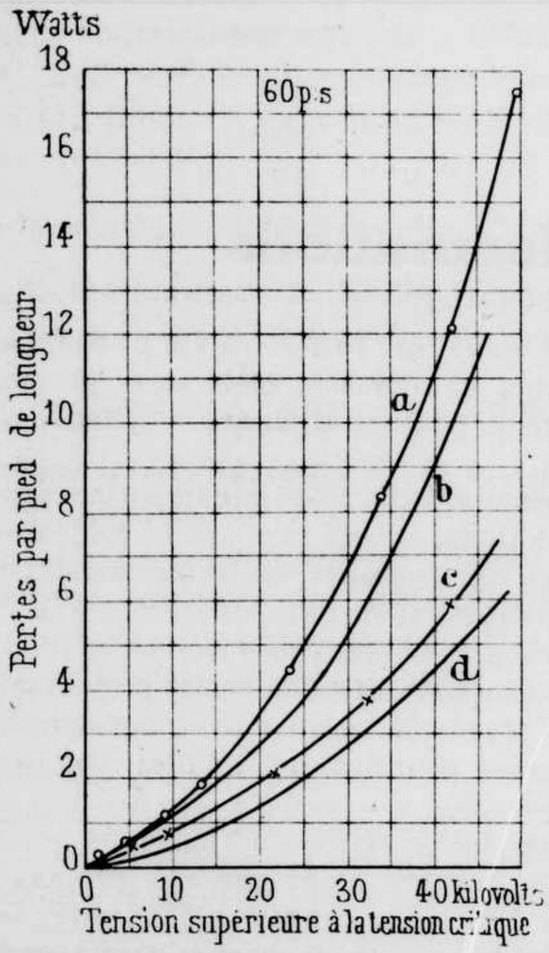


Figure 2. — Comparaison des résultats expérimentaux avec ceux que donnerait l'application de la formule de Holm : a, cas d'un cylindre de 61 cm ; b, courbe calculée avec la formule de Holm; c, cas d'un cylindre de 155 cm; d, courbe calculée avec la formule de Holm.

n'atteint la surface métallique, les courants positif et négatif ont toujours été trouvés égaux. Mais pour les diamètres plus faibles on a constaté que les courants étaient inégaux. Le courant positif est d'abord le plus élevé, mais au fur et à mesure que la tension augmente, le courant négatif prend peu à peu la prédominance. Ces faits seraient dus, d'une part, à l'inégale valeur de la tension critique pour l'un et l'autre courant et, d'autre part, à la modification de la mobilité des ions sous l'effet de l'augmentation de la tension

L'auteur a comparé les résultats qu'il a obtenus avec ceux qui peuvent être tirés de la formule théorique donnée par Holm et de la formule empirique qui a été énoncée par Peek ; il a trouvé que l'une et l'autre étaient insuffisamment vérifiées par ces résultats. La figure 2 montre les différences constatées entre les résultats expérimentaux et ceux donnés par la formule de Holm pour les cylindres de 61 et 155 cm de diamètre. Signalons de plus que l'hypothèse de Peek, qui attribue le début du phénomène à la présence d'irrégularités sur le conducteur paraît à l'auteur tout à fait incomplète, les expériences qu'il rapporte lui-même ayant été exécutées sur un fil de cuivre parfaitement poli.

Grâce à l'emploi de l'oscillographe cathodique ou de l'oscillographe à vibrations, il est possible d'étudier avec précision la forme des ondes. L'auteur a utilisé un oscillographe électromagnétique de Duddell, adapté à la mesure des faibles courants étudiés par l'adjonction d'un amplificateur à tubes à vide, pour rechercher la relation entre le courant de décharge et la forme de ce courant.

L'expérience a été conduite avec le cylindre de grand diamètre : Pour les tensions inférieures à la tension critique le courant chargeant le conducteur présente tous les caractères d'un courant de capacité. Dès que la valeur critique est atteinte, une coupure apparaît dans la courbe de l'onde causée par la formation de la couronne et résultant de l'accroissement du courant par suite de l'ionisation. Plus la tension augmente, plus cette ionisation croît et plus importante est la coupure constatée.

L'observation des oscillogrammes relevés a montré que la couronne positive correspondait à des ondes très adoucies, tandis que la couronne négative donne des courbes très irrégulières. — B. E.

La conduction électronique et l'ionisation dans des champs électrique et magnétique croisés (1).

1. Etude du cas d'une décharge électronique dans le vide. — Parmi les nombreuses recherches relatives à l'action d'un champ magnétique sur une décharge, un cas relativement simple est celui où l'effet se produit dans le vide, c'est-à-dire porte sur une décharge électronique simple.

Lorsqu'on admet un gaz dans un tube, soumis à l'action d'un champ électronique magnétique, l'effet de ce dernier devient moins marqué, comme si le gaz avait une tendance à maintenir le courant en dépit de l'action du champ.

Quand l'ionisation du gaz s'établit, les conditions deviennent trop complexes pour que l'on puisse tenter de procéder à une analyse théorique; il existe cependant une littérature d'importance considérable relative à l'effet du champ magnétique sur la décharge, en particulier au sujet des phénomènes de rotation des décharges dans des champs magnétiques radiaux.

Lorsqu'il ne se produit pas d'ionisation dans le gaz, il semble possible d'étendre la théorie initiale de J.-J. Thomson en combinaison avec le mécanisme des chocs élastiques entre les électrons primaires et les molécules du gaz, de

(1) N. Minorsky. *Journal of the Franklin Institute*, juin 1930, t. ccix, p. 757-775, 5 000 mots, 4 figures.

façon à expliquer l'entraînement graduel des électrons à travers le gaz. Cette partie du problème est relativement simple et elle est traitée dans la deuxième section du mémoire qui nous occupe.

2. Méthodes de résolution du problème de l'entraînement des électrons. — Il est plus difficile d'obtenir une expression des conditions relatives aux charges spatiales, même dans le cas le plus simple d'une symétrie cylindrique, comme le suppose l'auteur dans ses calculs. Il semble que l'on puisse envisager deux méthodes distinctes d'attaque de ce problème. La première consiste à introduire une fonction indéterminée représentant la densité électronique à un certain niveau et à formuler les conditions de l'état stationnaire à ce niveau. Ce procédé conduit à une équation intégrale du type de Fredholm, avec un noyau représentant la probabilité de transition entre les trajectoires électroniques. La difficulté de cette méthode réside dans le fait que le noyau de l'équation n'est pas connu, puisqu'il dépend du mécanisme, lui-même inconnu, des chocs entre électrons et molécules. Son principal intérêt réside dans le fait qu'il établit l'existence d'une solution analytique rigoureuse ayant pour base la théorie classique.

L'autre méthode, exposée dans la troisième section du mémoire, est basée sur l'hypothèse d'un certain mécanisme simplifié de diffusion dans lequel, au lieu de la double infinité de trajectoires engendrées par chocs, on n'en considère qu'une seule. A cette trajectoire moyenne s'attache un certain poids statistique résultant de la géométrie des mouvements trochoïdaux dont le calcul montre que les électrons sont animés. Cette distribution fictive par trajectoires distinctes est, naturellement, très différente de la distribution réelle, envisagée à une échelle de l'ordre de grandeur des circuits trochoïdaux. A l'échelle macroscopique, au contraire, il est à présumer que le changement n'est que très petit et qu'il tend vers zéro lorsque les dimensions des circuits trochoïdaux diminuent.

Analytiquement, l'approximation consiste à substituer à une équation intégrale un système d'équations linéaires à paramètre convenable, en nombre fini.

Dans ces conditions, il est possible d'appliquer le théorème du binôme de la théorie des probabilités discontinues et d'obtenir ainsi un aspect approché du mécanisme de la propagation électronique à travers un gaz inerte, lorsque le vecteur magnétique est normal au vecteur électrique et aussi de formuler les conditions relatives aux charges spatiales.

3. Remarque. — Il convient de noter que le mécanisme de conduction électronique à travers le gaz dans des champs croisés est essentiellement différent du cas où le champ magnétique est absent, puisque dans le premier cas les électrons se meuvent en moyenne normalement au vecteur électrique, tandis que dans le second ils se meuvent dans sa direction. Ceci peut être vu également par le fait que les deux phénomènes ne tendent pas vers la même limite quand le libre parcours moyen dans le gaz croît indéfiniment. — L. B.

Action mécanique exercée sur un conducteur par les ondes électromagnétiques.

A la séance du 7 juillet 1930 de l'Académie des Sciences, Mlle Suzanne Husson a présenté, par l'intermédiaire de M. G. Ferrié, une note (1) dans laquelle l'auteur rend compte d'expériences mettant en évidence l'existence de la force pressante de radiation que peuvent exercer les ondes électromagnétiques sur un élément oscillant. Voici le texte de cette note :

En 1891, H. Hertz (1) a observé des actions mécaniques s'exerçant sur des conducteurs disposés entre les deux fils d'une ligne, siège d'ondes électromagnétiques stationnaires.

Nous nous sommes proposé d'étudier un autre genre d'action mécanique, d'intensité beaucoup plus petite, que l'on n'observe que sur le trajet d'ondes progressives. Imaginons que sur le trajet d'ondes planes polarisées, on dispose parallèlement au vecteur électrique un fil métallique dont la longueur est égale à une demi-onde. L'intensité instantanée du courant à une distance x d'une extrémité est

$$i = I \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \sin \frac{2\pi t}{T}.$$

Le fil étant en résonance, le courant est en phase avec la force électrique dont l'expression, en unités électromagnétiques, est

$$f = F \sin \frac{2\pi t}{T};$$

r étant la résistance par unité de longueur, on a

$$\int_0^{\frac{\lambda}{2}} r\, i\, dx = \frac{\lambda}{2} F \sin \frac{2\pi t}{T},$$

équation d'où l'on tire

$$I = \frac{\pi F}{2r} = \frac{\pi F \lambda}{4R},$$

R étant la résistance totale du fil.

Chacun des éléments du fil se trouve dans un champ magnétique en phase avec le courant et d'amplitude $\frac{F}{v}$, v étant la vitesse de propagation. La force électromagnétique totale qui s'exerce sur le fil a alors une valeur moyenne

$$\frac{\pi F^2 \lambda}{8 R v} \int_0^{\frac{\lambda}{2}} \sin \frac{2\pi x}{\lambda}\, dx = \frac{F^2 \lambda^2}{8 R v}.$$

Elle est dirigée dans le sens de la propagation des ondes.

Cette force est très petite ; pour des ondes très courtes ($\lambda = 17{,}5$ cm) et une résistance $R = 100$ ohms (dans laquelle est comprise la résistance de rayonnement égale à 80 ohms environ), un champ électrique de 0,03 volt par centimètre, elle est de l'ordre de 10^{-7} dyne.

On remarquera que cette force décroît très vite si la longueur du fil n'est plus celle qui correspond à la résonance : d'une part, parce que l'intensité du courant est plus faible et, d'autre part, parce que loin de la résonance, le courant et le champ magnétiqne étant en quadrature, la valeur moyenne de l'action électromagnétique est nulle.

La force qui nous occupe est la force pressante de radiation sur un seul élément oscillant en résonance. Nous avons pu déceler l'existence de cette force de la manière suivante :

Des ondes entretenues de 17,5 cm de longueur d'onde sont produites par un oscillateur Pierret (2). Un résonateur

(1) Suzanne Husson. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 7 juillet 1930, t. CXCI, p. 33-36, 100 mots.

(1) H. Hertz. Ueber mechanische Wirkungen elecktrischer Drahtwellen. *Wiedemann Annalen*, 1891, t. XLII p. 407.

(2) E. Pierret. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 11 juin 1928, t. CLXXXVI, p. 1601 ; note reproduite dans la *Revue générale de l'Electricité*, 11 août 1928, t. XXIV, p. 216.

est une bande de 8 mm de largeur et de 8,5 cm de longueur découpée dans une feuille de papier d'aluminium. Cette bande constitue l'un des grands côtés d'un rectangle dont les trois autres côtés sont formés par un fil de quartz étiré. Les petits côtés de ce rectangle ont 1 cm de longueur. Un petit fragment de lamelle de microscope argentée est fixé au système pour servir de miroir. L'ensemble pèse environ 20 mg. Cet équipage mobile est suspendu par un de ses petits côtés à un fil de quartz très fin (d'un diamètre de 5 à 7 μ) à l'intérieur d'un tube de verre de 3 cm de diamètre.

A la pression atmosphérique, à cause du très grand amortissement du système très léger, les mouvements à observer sont très lents. Pour les rendre plus rapides, nons avons fait le vide dans le tube. Ce dernier est recouvert de papier noir et enfermé dans un cylindre de papier noir ; de plus, pour éviter les actions électrostatiques, on intercale entre le résonateur et l'oscillateur un cadre d'un mètre carré sur lequel sont tendus des fils de cuivre parallèles reliés au sol. Les ondes polarisées dont le vecteur électrique est normal aux fils le traversent, mais les actions électrostatiques sont supprimées.

La petite antenne de l'oscillateur étant verticale et parallèle au résonateur, on dispose ce dernier devant l'oscillateur. Pour une distance de 30 cm entre l'oscillateur et le résonateur, on observe une déviation du système suspendu, qui, pour un fil de torsion permettant une stabilité suffisante du zéro, est de 5 mm environ. On peut obtenir des effets plus importants en disposant derrière l'oscillateur, à une distance égale à un nombre impair de $\frac{\lambda}{4}$, une plaque métallique servant de miroir. Les ondes réfléchies se propagent en avant de l'oscillateur dans le même sens que les ondes incidentes et en concordance de phase avec elles. L'oscillation résultante ayant une amplitude double, l'action mécanique devient quatre fois plus grande. On peut ainsi observer cette action à des distances de l'oscillateur qui atteignent 50 cm. Lorsqu'on déplace les miroirs derrière l'oscillateur, on change la phase des ondes réfléchies. Pour des positions du miroir distantes d'un nombre entier de $\frac{\lambda}{2}$ les forces électriques interfèrent et l'action mécanique passe par des minima.

La susceptibilité magnétique des gaz : sa relation avec la pression (1).

Lorsqu'on essaye d'interpréter les résultats d'observations magnétiques sur la matière, il est difficile de déterminer, parmi les effets observés, la part qui revient aux molécules elles-mêmes et celle due à leurs actions mutuelles ; c'est pourquoi les résultats obtenus avec les gaz peuvent être interprétés avec le plus de confiance ; dans ce cas, en effet, on peut considérer sensiblement les molécules comme isolées, et pratiquement sans actions mutuelles.

La grandeur fondamentale à observer est la susceptibilité volumique k, qui mesure le moment magnétique moyen induit par centimètre cube. La mécanique classique et la théorie quantique s'accordent à poser que k est de la forme

$$k = \left[\frac{a}{T} + b\right]\frac{p}{T}, \qquad (1)$$

ou

$$k = cp, \qquad (2)$$

a étant une constante positive, d'ailleurs nulle si la molécule n'a pas de moment magnétique permanent, et b, une constante, en général négative, qui mesure la distribution de la charge électrique dans la molécule. Les expériences décrites dans l'article qui nous occupe avaient pour but de contrôler l'exactitude de l'équation (2).

Le problème expérimental était donc, avant tout, de déterminer l'effet sur divers gaz de petites quantités d'impuretés. La méthode employée pour ces mesures s'inspire de celles de Glaser, Hammer et Vaidyanathan, mais avec de notables perfectionnements. Elle consiste, en principe, à mesurer le couple exercé, en raison de la présence du gaz, sur un solide suspendu dans un champ non uniforme. Le solide est constitué de la façon suivante : à la base d'une tige de verre se trouve un récipient cylindrique ayant cette tige pour axe et divisé radialement en quatre chambres égales ; deux de ces chambres, diamétralement opposées, sont munies d'orifices livrant accès au gaz environnant. Les deux autres sont vidées et scellées. Au-dessus de ce corps d'épreuve entièrement en verre pyrex est disposée une petite tige de verre horizontale, mobile suivant la tige verticale du corps d'épreuve. Un petit ressort de fil de tungstène est fixé à la tige précitée afin qu'elle reste à la position qui lui est donnée. Si le corps d'épreuve est placé dans le champ magnétique avec ses quatre compartiments vides, il y sera en équilibre dans une position quelconque, qui est réglable par déplacement de la petite tige. En réalité, cette dernière était disposée et le fil de suspension, tordu de façon que les deux cloisons du corps d'épreuve se placent, l'une parallèlement, l'autre normalement à l'axe des pièces polaires de l'électroaimant, aussi bien quand le courant passe que lorsqu'il est interrompu. Si maintenant, le champ étant établi, on laisse pénétrer un gaz dans la chambre munie d'orifices, le corps d'épreuve sera évidemment dévié de telle sorte que cette chambre s'approche des pièces polaires si le gaz est paramagnétique, ou s'en éloigne s'il est diamagnétique.

L'emploi du verre pour la construction du corps d'épreuve est avantageux du fait que le verre étant diamagnétique, les forces magnétiques agissantes sont pratiquement indépendantes de la température.

La tige verticale du corps d'épreuve porte un miroir qui permet la lecture des angles sur une échelle placée à 3 m de distance. Le corps d'épreuve est suspendu au moyen de deux petits crochets de quartz, avec une fibre de quartz tendue entre eux. Il est contenu dans un récipient en verre, dont la partie inférieure est constituée par un vase de Dewar. Autour de la portion du récipient contenant le gaz, on peut admettre de l'air liquide, ou autres liquides réfrigérants. Dans les présentes expériences, cette partie de l'appareil était remplie d'air à la température ordinaire. On pouvait successivement, dans la chambre interne, faire le vide, puis laisser entrer le gaz à étudier. Cet espace comportait un thermomètre à résistance, donnant la température du gaz.

A l'aide de ce dispositif très ingénieux et réalisant sur les précédents un progrès marqué, l'auteur a trouvé que les susceptibilités volumiques de l'anhydride carbonique, de l'azote et de l hydrogène sont proportionnelles à la pression. — L. B.

(1) F. Bitter. *The physical Review*, 15 juin 1930, t. XXXV (2e série), p. 1572-1582, 3 000 mots, 9 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

L'éclairage des voies publiques de la ville de Toulouse

Après avoir exposé les divers stades du développement et de l'extension de l'éclairage des voies publiques de la ville de Toulouse, l'auteur précise les conditions dans lesquelles cet éclairage est assuré aujourd'hui. Le réseau d'éclairage est alimenté par deux usines génératrices : l'une est hydroélectrique ; l'autre, qui est une usine thermique, utilise comme combustible, en particulier, les ordures ménagères de la ville. L'auteur décrit l'une et l'autre usine et en indique les conditions de fonctionnement. Ajoutons que le réseau de la Ville de Toulouse est relié par une ligne à haute tension à celui, beaucoup plus important, de la Compagnie des Chemins de fer du Midi. Au point de vue de l'alimentation du réseau, toutes précautions sont donc prises pour que le service puisse être assuré sans interruption. En ce qui concerne l'éclairage même des voies publiques, l'auteur expose les raisons qui ont conduit à l'adoption de l'éclairage axial, et d'un type de lanterne sur lequel il donne quelques détails ; il décrit ensuite le réseau à haute tension et celui des lignes axiales de la ville de Toulouse, en montrant comment ce réseau sera progressivement étendu.

L'éclairage des voies publiques est un des problèmes les plus importants que les municipalités ont à résoudre dans les grandes villes. En effet, le développement industriel et commercial d'une cité et la circulation intense qui en résulte entraînent inéluctablement la transformation de l'éclairage public primitif.

Chaque ville constitue dans la série des réalisations effectuées un cas d'espèce créé par les circonstances locales particulières qui amènent les municipalités à adopter tel système d'éclairage plutôt que tel autre, et à l'alimenter en énergie au mieux des intérêts de la collectivité. C'est pourquoi nous rencontrons des villes éclairées uniquement au gaz ou à l'électricité, tandis que d'autres possèdent un éclairage mixte. La même diversité se retrouve dans les dispositifs d'éclairage adoptés : réverbères, candélabres à gaz ou à électricité, lanternes axiales, etc.

I. **Aperçu historique.** — 1. Eclairage au gaz. — A Toulouse, l'éclairage public était assuré depuis 1854 par la Compagnie L'Alliance, qui avait la concession de l'éclairage et du chauffage par le gaz. Les anciens réverbères à huile ont été progressivement transformés en lanternes à gaz (becs papillons) au fur et à mesure de l'extension des canalisations de gaz, et le 1er janvier 1878 il existait 2 320 lanternes à gaz. En 1889, 565 lanternes de plus ont été alimentées au gaz. L'avenant passé à cette époque prévoyait déjà l'éclairage électrique ou tout autre mode d'éclairage qui pourrait être distribué concurremment avec le gaz, soit pour l'éclairage privé, soit pour l'éclairage public.

Dès 1899 le bec Auer fait son apparition et la Ville impose à la compagnie concessionnaire la suppression des becs papillons dans un délai de six mois, ainsi que la transformation de 329 lanternes à pétrole et l'installation de 263 lanternes nouvelles avec becs Auer. En 1904, la Ville de Toulouse possédait de ce fait 3 477 lanternes à gaz.

Depuis, l'éclairage au gaz s'est étendu au fur et à mesure de la pose des canalisations : il comptait en 1926 4 400 lanternes ou candélabres, du type Auer, consommant de 80 à 120 l: h environ suivant la puissance des becs.

Les foyers lumineux placés à 4 m du sol environ étaient installés en quinconce dans les rues à des distances variant de 40 à 80 m suivant l'importance de la circulation ; des essais d'éclairage intensif avec du gaz surpressé ont été entrepris dans des rues très fréquentées, mais leur usage ne s'est pas généralisé.

2. Eclairage électrique. — L'éclairage électrique par lampes à arc alimentées en courant continu a été adopté par le conseil municipal dans sa séance du 7 avril 1891 à l'occasion de la venue à Toulouse du Président de la République ; la première installation comprenait 65 lampes placées dans des voies publiques importantes. Elle avait surtout pour but, tout en augmentant considérablement la quantité de lumière, de réaliser, sur la dépense occasionnée par l'éclairage au gaz, une sensible économie en permettant de supprimer des groupes de becs papillons coûteux consommant 750 à 1 200 et même 1 400 litres par heure. Le dit éclairage, mis au concours entre les deux sociétés locales, seules capables de le fournir, a été adjugé à la Société toulousaine d'Electricité à raison de 0,49 fr le kilowatt-heure.

En 1892, au mois de février, un deuxième réseau comprenant 45 lampes à arc de 10 A a été construit après adjudication au profit de la Société toulousaine d'Electricité. Enfin, un troisième réseau comprenant la fourniture, la pose et l'alimentation de 91 lampes à arc de 10 A, a été concédé à la même société par le conseil municipal dans sa séance du 21 février 1893.

Donc, dès 1893, la Ville de Toulouse possédait un éclairage électrique, très moderne pour l'époque, composé de 201 lampes à arc de 5 à 10 A. Ces lampes laissées à la charge du concessionnaire ont coûté 600 fr pièce en moyenne ; elles étaient installées en général sur candélabres, sauf sur les boulevards et les rues étroites où les lampes étaient suspendues à des chaînes tendues entre deux pylônes ou bien entre immeubles et placées à 6 m de hauteur dans l'axe de la chaussée. Une distance de 70 à 80 m séparait les foyers lumineux. Un treuil assurait la manœuvre des lanternes pour leur entretien et le remplacement des charbons.

Toutes ces lampes étaient desservies au moyen de branchements individuels. L'allumage se faisait par groupes de lampes, primitivement au moyen d'interrupteurs manœuvrés à la main et, plus tard, par des interrupteurs horaires type Sautter-Harlé.

La concession accordée à la Société toulousaine d'Electricité a expiré en 1912 et tout le matériel d'éclairage public, réseau compris, est devenu la propriété de l'Autorité concédante, conformément aux dispositions du cahier des charges.

En 1920, après entente avec la Ville, le concessionnaire a transformé toutes les lanternes, supprimé les lampes à arc, sauf neuf, et remplacé ce dispositif d'éclairage un peu vétuste par des lampes à incandescence de 600 à 1 000 bougies. Aux termes de ce nouveau contrat, la Société toulousaine du Bazacle, qui avait succédé à la précédente, assurait la fourniture de l'énergie et le remplacement des charbons moyennant le prix de 1 fr par kilowatt-heure consommé par l'éclairage public. Ce prix a été ramené à 0,80 fr après le remplacement des lampes à arc par des lampes à incandescence. Depuis cette époque, le Service de l'Eclairage avait fait installer quelques lampes supplémentaires portant le nombre total à 220 unités.

En résumé, l'ancien éclairage de la Ville de Toulouse comprenait 4 400 becs à gaz et 220 lampes électriques, soit au total 4 620 foyers lumineux pour éclairer plus de 300 km de rues, de boulevards, de places ou d'avenues.

Nous n'insisterons pas sur les résultats pratiques donnés par cet éclairage ; il laissait énormément à désirer et la voie publique toulousaine était une des plus mal éclairées de France.

Après cet aperçu sur les diverses modifications qu'a subies l'éclairage public à Toulouse, nous allons décrire brièvement les deux usines qui assurent l'alimentation du nouveau réseau d'éclairage public, en raison du rôle déterminant qu'elles ont joué dans le choix du système adopté par le conseil municipal.

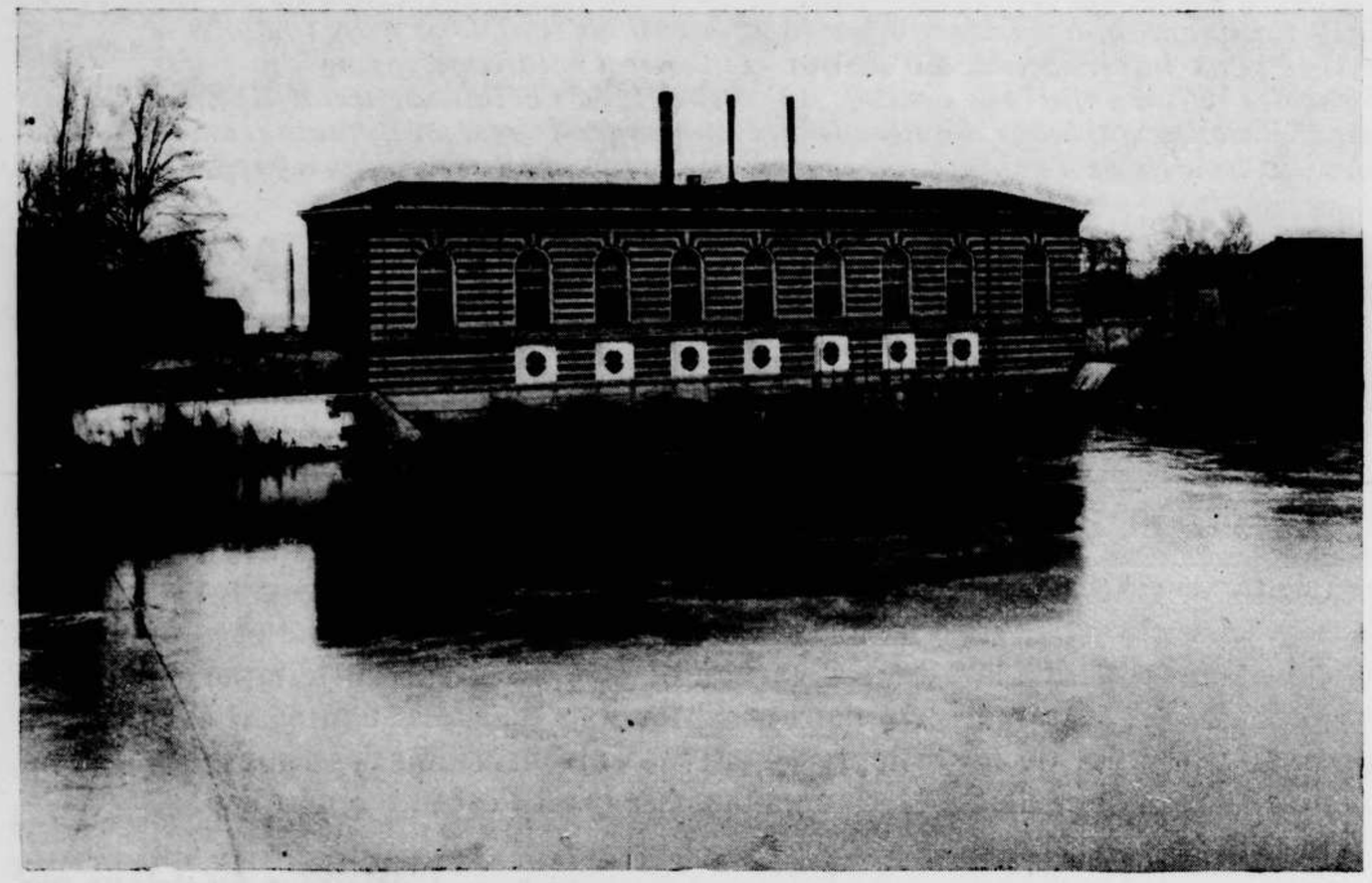


Fig. 1. — Vue de l'usine génératrice du Ramier du Château.

II. **Usine hydroélectrique du Ramier du Château**. — 1. Généralités. — Les usines du Ramier du Château narbonnais établies près du pont de Tounis, en vertu d'une concession délivrée aux pariers du Moulin du Château narbonnais par des chartes d'inféodation authentiques remontant au douzième siècle, ont été rachetées par la Ville de Toulouse, en 1902, à la suite de graves difficultés survenues entre l'Administration, les actionnaires de la Société du Moulin du Château et leurs locataires à propos de la rupture par une crue de la Garonne de la chaussée de la Cavaletade.

Les usagers du Moulin du Château empruntaient au bras supérieur de la Garonne, bras navigable de 4 km de longueur, l'énergie nécessaire à la mise en jeu de leurs meules par des dérivations hydrauliques. Ce système absolument suranné était appelé à disparaître en raison de la mauvaise utilisation qui était faite de l'eau et du rendement insignifiant de ces installations. Une usine génératrice moderne était tout indiquée et la Ville se devait à elle-même de faire fructifier cette richesse naturelle qu'est l'énergie hydraulique dont la France est si abondamment pourvue. Aussi a t-on envisagé en pleine période de guerre, alors que l'énergie électrique était rare, l'édification d'une usine, parallèlement aux deux bras du fleuve, sur les terrains de la Ville situés à l'entrée du Parc toulousain.

La construction de l'usine hydroélectrique du Ramier du Château (fig. 1) a été commencée en 1917, en exécution des délibérations du Conseil municipal des

7 octobre et 27 novembre 1916 et avec le concours financier de l'Etat (Administration de la Guerre) qui

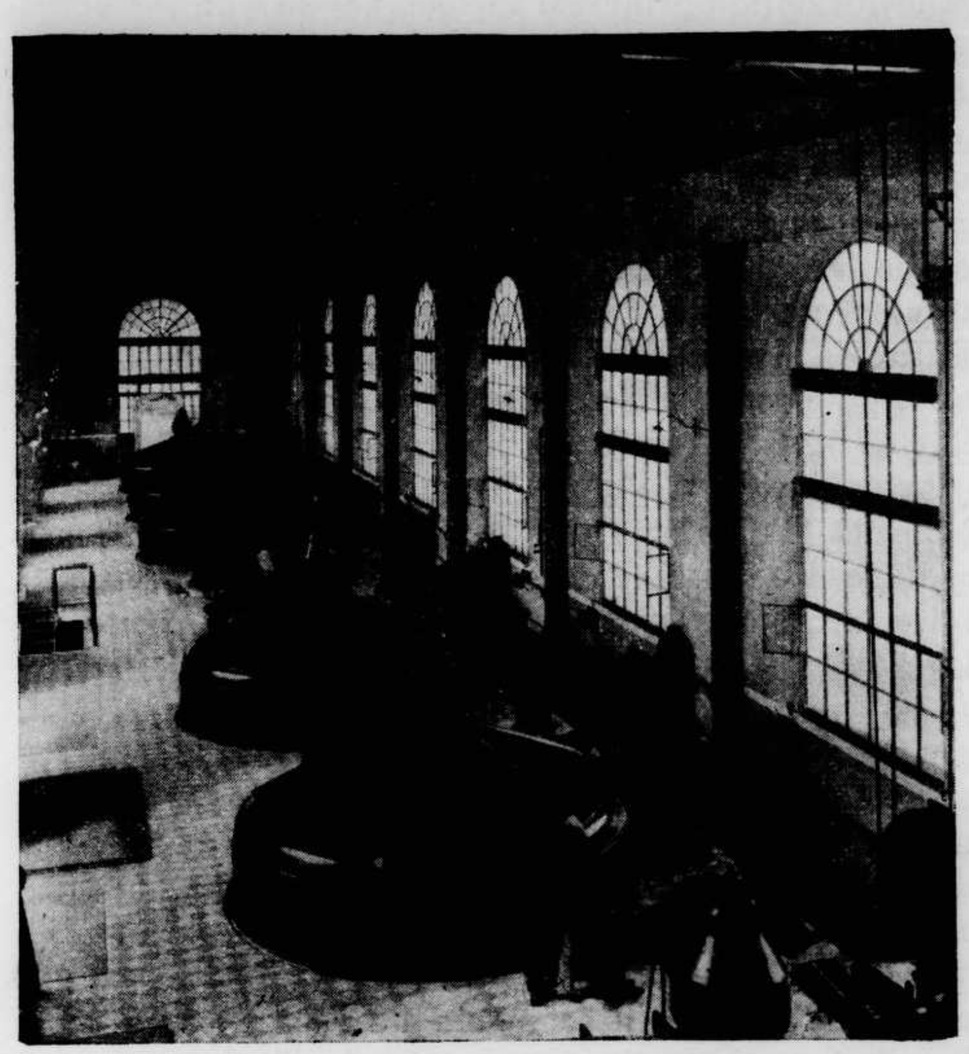


Fig. 2. — Vue de la salle des machines de l'usine génératrice du Ramier du Château.

avait avancé à la Ville la somme de 2750000 fr, suivant décret du 23 novembre 1916 porté à 4 millions de francs par le décret du 13 janvier 1917. L'ensemble des ouvrages, usine proprement dite et aménagement du bras supérieur de la Garonne, a coûté 8 millions de francs, en chiffres ronds.

En compensation des avances faites par l'Etat à la Ville, le Ministère de la Guerre s'était réservé, jusqu'à la signature de la paix, la production totale de l'usine génératrice du Ramier.

Mais les difficultés rencontrées au cours des travaux ont reporté la mise en marche des installations au début de l'année 1922.

2. Caractéristiques de l'usine génératrice du Ramier du Chateau. — Les eaux du bras supérieur de la Garonne sont amenées à ladite usine par un canal de 100 m de longueur, dont la section mouillée permet le passage d'un débit de 120 m³:s. Les eaux en excédent sont rejetées dans le bras inférieur par le jeu de plusieurs chaussées de retenue : la Cavaletade, la Loge, Banlève et Pont-de-Tounis, qui commencent à couler dès que le débit du fleuve s'élève au-dessus de 140 m³:s.

La chute brute ainsi obtenue varie de 4,20 m en période de basses eaux à 3,50 m en période de hautes eaux. Le débit dérivé varie lui-même de 40 m³:s à l'étiage à 125 m³:s pendant une période approximative de 6 à 7 mois.

La puissance produite suit les fluctuations du débit : en période d'étiage ou même de grosses crues de la Garonne elle tombe à 1000 kw environ; en eaux moyennes cette puissance est de 3300 kw environ et en hautes eaux, de 3000 kw environ.

L'usine comporte six groupes générateurs (fig. 2) de 625 kv-a, à axe vertical, tournant à la vitesse de 83,3 t:mn, dont trois sont actionnés par des turbines simples type Francis construites par les Etablissements Escher Wyss, de Genève et trois par des turbines doubles, type Francis, construites par la Société hydromécanique de Toulouse.

Chaque groupe comprend, outre la turbine et son régulateur, un alternateur triphasé de 625 kv-a, 50 p:s, construit par la Compagnie générale électrique de Nancy, donnant un courant d'une intensité de 720 a sous la tension de 500 v, un transformateur élévateur de même puissance et de même construction, élevant la tension de 500 à 13500 v et une excitatrice de 75 a sous la tension de 350 v, soit 26 kw (Ateliers de Constructions électriques de Metz), entraînée par courroie et enrouleur Lenix.

Primitivement l'excitation de tous les alternateurs était assurée par deux commutatrices, dont une de réserve, transformant du courant alternatif à 225 v en

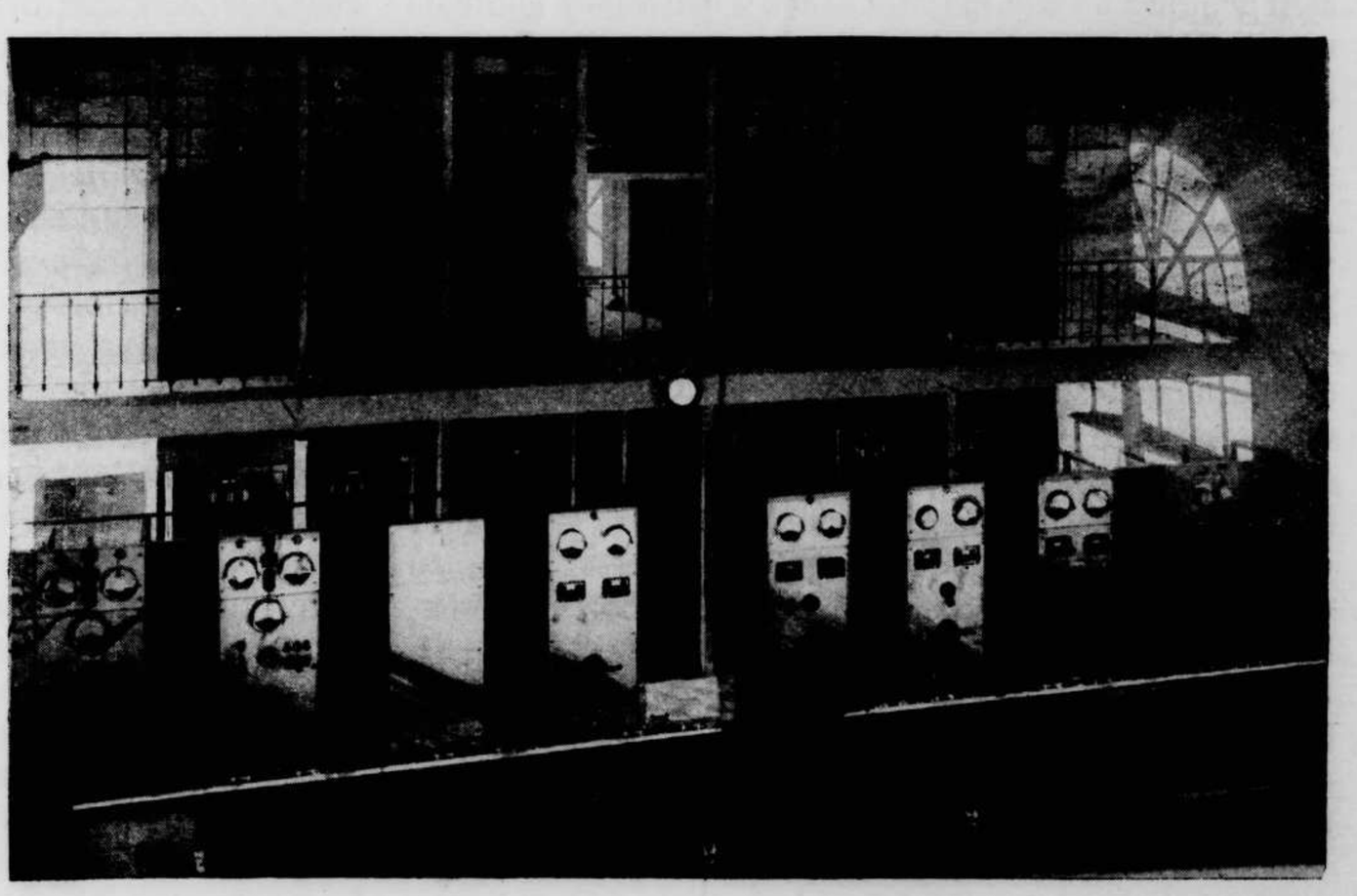


Fig. 3. — Vue du tableau de distribution de l'usine génératrice du Ramier du Château.

courant continu à 350 v. Ce système a dû être abandonné en raison des difficultés d'exploitation et d'en-

tretien qu'il occasionnait; il a été remplacé par des excitatrices individuelles et un groupe convertisseur de secours à accouplement direct, avec moteur asynchrone et dynamo de 26 kw construits par la Société alsacienne de Constructions mécaniques. Ce groupe est alimenté par les transformateurs de service.

Le pupitre de commande des alternateurs est situé en bout de l'usine avec le tableau général à haute tension à 13500 v. Tous les circuits triphasés, qu'il s'agisse de l'arrivée de courant des alternateurs ou des départs des lignes, sont séparés entre eux par des cloisonnements en béton armé. Cette disposition très pratique réduit l'action des courts-circuits à une seule cellule et permet de réparer en toute sécurité les différents circuits à haute tension.

Le tableau (fig. 3) comprend deux rangées de huit cellules dont les circuits aboutissent au double jeu de barres générales à 13500 v; l'appareillage concernant les six alternateurs, le couplage des jeux de barres et l'usine thermique d'incinération, dont il va être question plus loin, occupent une rangée; d'autre part, l'appareillage relatif aux sept feeders souterrains de la distribution à 13500 v et les câbles armés venant du poste de transformation élévateur 13500/60000 v accolé à l'usine du Ramier occupent la deuxième rangée.

Sur chaque jeu de barres sont installés les appareils de synchronisation et de couplage ainsi que les appareils généraux de contrôle : ampèremètre, voltmètre, fréquencemètre, phasemètre et wattmètre enregistreur. Tous les départs des feeders sont commandés par un disjoncteur avec déclenchement à maximum de courant.

Le pupitre se compose de huit panneaux sur lesquels sont groupés les commandes et les appareils de contrôle des six alternateurs, ceux de l'interrupteur de couplage des deux jeux de barres et ceux de l'arrivée de l'usine thermique. Les disjoncteurs fournis par la Compagnie Electro-Mécanique possèdent des relais directs à maximum de courant, réglables et à action retardée ; les volants de commande placés au pupitre agissent sur les disjoncteurs par l'intermédiaire d'une transmission en câble simple et d'une chaîne Galle. Le disjoncteur de couplage des deux jeux de barres est seul manœuvré du pupitre par commande électrique.

Les services auxiliaires de l'usine sont alimentés en courant alternatif par deux transformateurs de 30 kv-v 13500/225/127 v qui desservent le pont roulant de 25 t construit par la Société de Construction Oerlikon, l'atelier de réparations et l'éclairage général. Une batterie d'accumulateurs T. E. M. de 150 a-h, à 120 v, fournit le courant aux différents relais et à l'éclairage de secours de l'usine en cas d'arrêt général des machines.

III. **Liaison entre l'usine génératrice du Ramier du Château et le réseau de la Compagnie des Chemins de fer du Midi.** — En 1929, la Ville de Toulouse a obtenu la concession d'une ligne de transmission à 60000 v et d'un poste de transformation 60000/13500 v destinés à relier l'usine du Ramier et les réseaux de distribution de Toulouse au poste de transformation principal 150 000/60000 v de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, à Portet-Saint-Simon. La ligne a été construite pour une puissance de 10000 kv-a; le poste de transformation comprend quatre transformateurs monophasés de 2000 kv-a, 7800/35000 v dont un de rechange. Ils sont couplés en étoile tant au primaire qu'au secondaire; leur protection est assurée par le système différentiel Merz-Price. Enfin, la commande et le contrôle de ce poste sont assurés électriquement depuis le tableau général de l'usine du Ramier.

Les travaux d'aménagement de l'usine ont été confiés à la Société d'Entreprises Giraudon ; néanmoins, l'appareillage et les disjoncteurs ont été construits par les Etablissements Merlin et Gerin et les transformateurs par les Ateliers de Constructions électriques de Metz.

Cette ligne de transmission était de toute utilité : c'est pourquoi, dès juillet 1927, le Conseil municipal en avait demandé la concession. En effet, il était absolument nécessaire de prévoir le raccordement de l'usine du Ramier avec le réseau général de distribution à 150 000 v de la Compagnie des Chemins de fer du Midi qui réalise l'interconnexion de la majeure partie des usines productrices de la région du sud-ouest de la France. Il fallait sortir l'usine du Ramier de l'isolement dans lequel elle se trouvait, car ses liaisons avec le réseau de la Société toulousaine de Bazacle, ne lui aurait pas permis les échanges d'énergie à faire pour l'utilisation intégrale de l'énergie disponible à la chute du Moulin du Château.

En période d'étiage de la Garonne, il est possible de recevoir l'énergie hydraulique provenant d'usines de lacs des Pyrénées ; en période de hautes eaux, au contraire, les excédents d'énergie de l'usine du Ramier du Château seront fournis au réseau général de la Compagnie des Chemins de fer du Midi.

Enfin, en cas d'accidents graves, rupture de chaussée ou arrêt de turbines, ou encore en cas de crues exceptionnellement fortes, l'usine du Ramier disposera d'un secours très important.

IV. **Usine d'incinération des ordures ménagères.** — 1. Généralités. — Cet ensemble de moyens de production d'énergie électrique est utilement complété par l'usine d'incinération des ordures ménagères qui produit d'une façon permanente de l'énergie provenant de la combustion des ordures ; elle comprend une chaudière à charbon correspondant à une puissance de 500 kw dont l'appoint vis-à-vis des chaudières brûlant les gadoues permet de fournir une puissance totale de 1 000 à 1 100 kw au maximum qui compense les réductions occasionnelles de l'énergie hydraulique de la chute du Ramier.

Cette usine a été édifiée sur l'avenue du Parc toulousain à côté de l'usine du Ramier, sur les bords du bras supérieur de la Garonne. Cet emplacement a été choisi dans un triple but : d'une part, il est presque situé au

centre géométrique de l'agglomération, point très important pour la collecte des ordures ménagères ; d'autre part, la proximité de l'eau permet d'assurer dans des conditions exceptionnelles la condensation des turboalternateurs ; enfin la longueur et les frais d'établissement de la liaison électrique des deux usines par câble armé à 13500 volts sont réduits au minimum ; cette longueur est de 80 m environ.

Le bâtiment a été traité dans un style moderne qui s'adapte, comme on le sait, au béton armé, avec sa sobriété de lignes qui provient de l'union intime des conceptions de l'architecte et de l'ingénieur. C'est M. Demure, architecte, qui a déterminé les lignes et les volumes qui enveloppent la machinerie; quant à la conception technique, elle est due aux ingénieurs de la Société d'Entreprises pour l'Industrie et l'Agriculture qui se sont spécialisés dans les questions d'incinération.

Rien n'a été épargné dans cette usine pour que l'hygiène la plus rigoureuse soit respectée et le problème n'était pas facile à résoudre puisqu'il s'agissait de traiter un des résidus les plus infects, qui répand de plus, à l'extérieur, les poussières les plus désagréables. On peut affirmer que l'usine de Toulouse donne la satisfaction la plus complète aux hygiénistes, en accordant aux ouvriers l'hygiène qui leur est due et en supprimant toutes les causes d'incommodité pour le voisinage. La salle des fours est d'une propreté rigoureuse et la salle des machines est méticuleusement entretenue.

Le maniement des ordures est, comme nous le verrons plus loin, assuré par des bennes preneuses qui sont manœuvrées, de l'extérieur même de l'usine, par des ouvriers qui n'ont d'autre travail que de manier des manettes à portée de leur main et de vérifier, par de larges baies vitrées, comment les appareils obéissent à leur volonté.

Les ouvriers chargés de la manutention des ordures n'ont donc aucun contact, même par l'intermédiaire de l'air, avec les ordures elles-mêmes : la salle où sont amenés les ordures est hermétiquement close et sans aucune communication permanente ni avec l'extérieur, ni avec l'intérieur de l'usine.

Les ordures sont déversées dans les fosses par des ouvertures pourvues de rideaux métalliques qui sont immédiatement fermées dès que les camions qui amènent les ordures ont été vidé. Rien de ce qui entre dans la fosse ne verra plus le jour et devra passer par l'intérieur brûlant des fours, où tout sera converti en vapeur d'eau, en chaleur et en mâchefer.

Toutes les précautions, même parmi les plus minutieuses, ont été prises pour éviter les accidents. On est surpris par l'abondance des garde-fous, des tôles de protection, des treillages métalliques qui entourent tous les appareils en mouvement.

2. Description de l'usine. — 1° *Manutention des ordures ménagères.* — La salle de réception et de manutention des ordures est entièrement close. La fosse à ordures, fermée par des rideaux métalliques, a une capacité de 200 m³ environ. Deux ponts roulants électriques à bennes preneuses automatiques prennent les ordures dans cette fosse et les déversent dans les trémies d'alimentation des fours. Toutes les manœuvres de ces ponts sont commandées électriquement de l'extérieur de la salle de manutention, de sorte que, comme nous l'avons dit, le mécanicien préposé à la manœuvre des ponts n'est jamais en contact avec les gadoues

2° *Salle des fours.* — L'incinération des ordures s'effectue dans deux groupes de trois fours brevetés « Sépia » à grille mobile et à chargement continu par vis d'Archimède. Chaque groupe incinère 100 tonnes d'ordures en vingt-quatre heures ; la capacité totale d'incinération de l'usine est donc de 200 t par jour. L'air chaud nécessaire à la combustion des ordures est soufflé sous les grilles au moyen de deux ventilateurs système Rateau entrainés par moteurs électriques.

A chaque groupe de fours est accolée une chaudière Bussac à tubes d'eau verticaux, avec réchauffeur d'eau et surchauffeur de vapeur. Le tirage est assuré par deux cheminées mécaniques L. Prat, munies de pulvocapteurs.

3° *Chaufferie à charbon.* — Enfin, une chaudière chauffée au charbon permet de soutenir l'usine hydroélectrique dans les périodes de basses eaux, époque où précisément les gadoues sont moins abondantes et moins riches. Cette chaudière est munie d'un foyer soufflé et les gaz brûlés sont évacués par une cheminée en briques de 30 mètres de hauteur.

4° *Salle des machines.* — La vapeur produite est utilisée dans deux turboalternateurs de 500 kw chacun, avec condensation par surface, fournis par la Société alsacienne de Constructions mécaniques.

L'eau de réfrigération est puisée dans la Garonne ; le captage peut débiter 500 m³ : h. Ces machines fournissent du courant triphasé à 380 v et 50 p : s.

Un poste de transformation de 1 000 kw élève la tension à 13500 v pour permettre le couplage de l'usine avec le réseau urbain. Toutes les manœuvres électriques sont commandées d'un tableau général de distribution placé dans la salle des machines.

5° *Evacuation des mâchefers.* — Les mâchefers incandescents, défournés automatiquement, tombent dans un concasseur à cylindres dentés où ils sont broyés et éteints. Ce concasseur est monté sur un chariot qui se déplace sur une voie placée devant les couloirs d'évacuation des mâchefers. Ce chariot est mû électriquement et automatiquement à partir d'un poste de commande placé sur le plancher de chauffe ; un système de signalisation électrique permet de contrôler sa position sous les fours.

Les mâchefers concassés tombent dans les wagonnets qui sont conduits à l'atelier de broyage.

Une cheminée d'aération de 20 m de hauteur évacue dans l'atmosphère les vapeurs et les fines poussières provenant de l'extinction et du concassage des mâchefers. L'habitabilité de la galerie d'évacuation des mâchefers est ainsi réalisée dans les meilleures conditions d'hygiène.

6° *Atelier de broyage des mâchefers.* — Les wagonnets de mâchefers sont déversés dans la trémie d'alimentation d'un broyeur à cylindres dentés. Un élévateur reprend le produit broyé et le jette dans un trommel cribleur; les mâchefers criblés passent dans un second broyeur à cylindres lisses qui parachève le broyage aux dimensions voulues pour les fabrications ultérieures.

Un séparateur magnétique élimine les ferrailles libérées au cours des opérations du broyage.

Les mâchefers broyés sont déversés par une courroie transporteuse dans une fosse située à l'extérieur. Un moteur électrique actionne toute cette installation. Un groupe convertisseur rotatif électrique fournit le courant continu nécessaire aux électroaimants du séparateur magnétique.

7° *Parc de stockage des mâchefers.* — Les mâchefers broyés sont pris dans la fosse ci-dessus par la benne preneuse d'un treuil électrique monorail, et mis en tas pendant le temps nécessaire à leur extinction complète. Ce parc peut recevoir 1 000 t de mâchefers environ.

8° *Briqueterie.* — Les mâchefers sont repris au stockage par la benne preneuse du treuil monorail et déversés dans la trémie d'alimentation de la briqueterie. Une table doseuse les distribue dans une vis mélangeuse qui reçoit également la chaux provenant d'un deuxième table doseuse. Le mélange, repris par un élévateur, est déversé dans un malaxeur mouilleur, à doubles rangées de palettes, puis dans un broyeur à meules.

La pâte obtenue alimente soit une presse à briques, soit une presse à parpaings. La presse à briques peut produire à l'heure 1 500 briques de dimensions 25 mm × 105 mm × 60 mm. La presse à parpaings peut produire à l'heure 120 moellons de dimensions 25 cm × 50 cm × 20 cm.

Deux moteurs électriques actionnent les divers appareils de la briqueterie.

Les produits fabriqués sont empilés sur des wagonnets spéciaux et conduits au parc de stockage où ils séjournent pendant le temps nécessaire à leur prise.

9° *Composition des ordures.* — La composition des ordures est très différente suivant les deux périodes de l'année :

Dans la saison estivale, les ordures ménagères sont composées en grande partie d'issues de légumes frais, nécessitant l'adjonction d'une proportion de charbon de 8 à 9 pour 100 pour assurer une combustion normale. La production moyenne ressort à 81 kw-h et à 420 kg de mâchefer par tonne de gadoue incinérée.

Dans la saison hivernale, à la partie commune aux deux saisons comprenant papiers, chiffons, paille, etc., viennent s'ajouter les poussiers et scories des appareils de chauffage domestiques. La disparition presque absolue de légumes verts fait tomber à une quantité minime la proportion de charbon utilisée pour obtenir l'incinération complète et régulière des ordures. La production moyenne ressort à 69 kw-h et à 390 kg de mâchefer par tonne de gadoue incinérée.

V. **Choix d'un système d'éclairage.** — Le réseau d'éclairage public de Toulouse se composait en 1927, comme nous l'avons déjà dit, de 220 lampes représentant une puissance installée de 100 kw. Ces lampes étaient alimentées, sous 120 v, par des fils, dénommés « réseau d'éclairage public », supportés par les mêmes consoles que les lignes de distribution ordinaires de la Société toulousaine du Bazacle; les lampes et les branchements étaient entretenus par le concessionnaire, car il aurait été presque impossible aux agents de la Ville de le faire et encore moins de les utiliser pour une distribution indépendante ou d'y apporter des modifications.

Cette difficulté matérielle a amené l'Administration municipale à abandonner l'ancien réseau pour la transformation et l'extension de l'éclairage public et à envisager la construction d'un réseau privé de distribution à haute tension avec les postes de transformation nécessaires pour l'alimentation des nouvelles lampes d'éclairage public.

Une ville de l'importance de Toulouse devait être autonome; on ne s'expliquait pas, d'ailleurs, qu'avec des moyens de production importants comme ceux que nous venons de décrire, elle soit restée sous la dépendance d'une société quelle qu'elle soit.

Possédant au contraire une certaine autonomie et disposant de communications sûres avec les réseaux extérieurs, elle était à même de palier à toute défaillance du concessionnaire local tout en assurant le fonctionnement de ses propres services.

Le principe de la distribution indépendante admis, nous avons bien songé à apporter des modifications à l'éclairage existant, mais nous avons dû y renoncer. En effet, l'éclairage axial installé sur les boulevards ou dans les petites rues, ne donnait pas les résultats qu'on était en droit d'attendre de lui, parce que les lampes étaient trop écartées (distance moyenne 75 m), et que les foyers lumineux étaient trop bas (5 ou 6 m du sol, à peine). Cette hauteur était notablement insuffisante vu que les boulevards ont une largeur de 40 m environ.

Les lampes sur candélabres, mises dans diverses rues, avaient leur foyer lumineux placé à 7,50 m du sol. Cette hauteur était plus rationnelle que la précédente car les rues sont moins larges que les boulevard mais ces candélabres placés sur les trottoirs, près des maisons, à des distances de 50 à 60 m, n'éclairaient pas suffisamment la voie publique. Ils projetaient un vif éclairement sur la façade des immeubles voisins au grand détriment de la chaussée et de l'esthétique générale de la rue éclairée.

Les globes opalins dont étaient munis tous ces appareils d'éclairage absorbaient beaucoup de lumière et exigeaient un gros entretien pour éviter les dépôts de poussières et d'insectes. Enfin, par temps de pluie, les gouttes d'eau qui pénétraient dans les armatures provoquaient la mise hors service d'un grand nombre de lampes.

Tous ces inconvénients nous ont amenés à envisager la suppression des candélabres, d'ailleurs très gênants

pour la circulation des piétons sur les trottoirs, et à les réserver pour les places, les squares et les jardins publics.

Avant d'adopter définitivement le système qui s'adaptait le mieux aux conditions locales, nous avons examiné comment le problème de l'éclairage public avait été résolu dans un certain nombre de villes depuis la guerre.

Les municipalités ont été amenées d'une manière générale, à créer un réseau d'éclairage municipal indépendant du réseau de distribution publique du concessionnaire pour former un tout homogène soumis uniquement à leur contrôle technique. Les sociétés concessionnaires fournissent simplement l'énergie ; elles peuvent, le cas échéant, se charger de l'entretien de ce réseau si les municipalités ne sont pas outillées pour ce genre de travail.

Les dispositifs employés varient suivant les villes : dans les unes, on trouve un réseau souterrain alimentant des candélabres ou même des lampes axiales, dans d'autres, au contraire, les mêmes appareils sont alimentés par des lignes ou des branchements souterrains.

A Paris, tous les candélabres sont desservis par des câbles souterrains. A Marseille, au contraire, l'éclairage axial a été adopté d'une manière générale avec alimentation aérienne. A Bordeaux, on utilise un système mixte : des candélabres sur les cours importants et des lampes axiales dans les rues, alimentées les unes par câbles souterrains, les autres par des branchements individuels sur le réseau.

De cette étude rapide se dégagent néanmoins les caractéristiques suivantes : le réseau d'éclairage public doit être constitué par un réseau indépendant ; les foyers lumineux doivent être placés le plus haut possible ; les lampes doivent se trouver au point le plus rationnel par rapport à la surface qu'elles ont à éclairer.

L'éclairage axial remplit toutes ces conditions ; il est rationnel et économique ; il permet de placer les lampes à des hauteurs suffisantes, compte tenu de la largeur des voies publiques à éclairer et de supprimer les globes quels qu'ils soient.

Le programme d'utilisation de l'usine génératrice du Ramier prévoyait l'emploi de l'énergie électrique disponible pour les besoins de la ville ; il était logique de lier la réfection de l'éclairage public avec la construction du réseau indépendant qui devait distribuer l'énergie consommée par les dites lampes. Au surplus, le prix payé au concessionnaire (1,40 fr par kilowatt-heure) était bien supérieur au prix de l'énergie produite par l'usine municipale. C'est donc pour cette raison principale, et pour de nombreux avantages financiers, que l'Administration municipale a adopté l'éclairage axial avec réseau de distribution aérien, de préférence à tout autre système.

Nous avons fait appel pour ce travail, après maintes recherches, à la Compagnie provençale d'Entreprises de Marseille, qui dispose de lanternes types à la fois simples, solides et présentant une certaine élégance.

Avant de demander à la dite société l'exécution d'un projet important et d'agréer son matériel, l'Administration municipale lui a confié, en 1927, à titre d'essai, l'éclairage des allées Jean Jaurès, pour supprimer les dernières lampes à arc, et celui de la rue de Rémusat éclairée jusque là au gaz.

Ces essais ont été concluants et conformes aux résultats attendus. En effet, à la rue de Rémusat notamment nous avons réalisé avec des lampes de 200 bougies, un éclairage de beaucoup supérieur à celui qu'assuraient dans la rue d'Alsace-Lorraine des candélabres avec lampes de 500 bougies, et globes opalins, montrant ainsi la supériorité de rendement des nouvelles lanternes.

Enfin, le coût moyen de ces installations est ressorti à 1 500 fr par lampe environ, tandis qu'un candélabre du genre de ceux qui existaient rue d'Alsace-Lorraine, aurait coûté, mis en place et raccordé au réseau du concessionnaire, la somme de 5 000 fr. L'économie du système est évidente ; la Ville disposera, en outre, d'un réseau triphasé à 220 v de distribution d'éclairage public lui appartenant, tandis que l'ancien éclairage n'avait rien d'équivalent.

Elle pourra désormais, par l'extension progressive de l'éclairage axial récupérer, d'une part, des candélabres électriques et, d'autre part, des becs de gaz. C'est pourquoi la Ville de Toulouse, en présence de tous les avantages que nous venons d'énumérer, a adopté, d'une manière générale, par délibération du 29 avril 1927, l'éclairage axial pour sa voie publique.

VI. **Suspensions axiales adoptées**. — 1. Généralités. — Les suspensions d'éclairage public réalisées jusqu'à ce jour sont généralement constituées par un habillage suspendu au système porteur (câble tendu, console, etc.) par sa partie supérieure munie dans ce but d'un raccord en forme de T servant à la fois de pièce d'accrochage et d'entrée aux fils d'alimentation branchés sur une douille normale.

Ce genre de suspension ne répond pas toujours au but poursuivi. On constate, en effet, les quelques inconvénients suivants :

Au point de vue mécanique, balancement de la lanterne sous l'action du vent ; emploi de vis de petit diamètre ou de pièces s'altérant rapidement ; danger de chute de la lampe par desserrage ou rupture de la porcelaine supportant la chemise de la douille ; difficulté d'alignement des points lumineux et emploi obligatoire de tendeurs ; impossibilité d'adapter un même type de lanterne aux différents modes de suspension.

Au point de vue électrique, aération insuffisante et surtout isolement défectueux, limité à celui des fils passant à l'intérieur de l'habillage et dont le guipage se désagrège avec le temps.

Il importait donc de remplacer les suspensions actuelles par un procédé s'appliquant à tous les cas et évitant les inconvénients des anciennes suspensions particulièrement dans le problème de l'éclairage axial.

2. Description de la lanterne M. A. M. — 1° *Principe mécanique*. — Le dispositif consiste (fig. 4) en un

collier en métal fondu composé de deux couronnes, la couronne inférieure à ailettes portant le diffuseur et munie de bornes amenant le courant à la douille, cette couronne se place sous un tube de suspension qui vient se loger dans deux échancrures diamétralement opposées, entaillées à partir d'une certaine hauteur en forme de queue d'aronde ; dans ces entailles viennent s'engager deux coins apropriés, dont la partie inférieure, creusée, demi-cylindrique, repose sur le tube de suspension.

Les deux coins sont reliés par un petit ressort à lames qui les maintient normalement légèrement écartés de façon à pouvoir les introduire dans leurs logements et

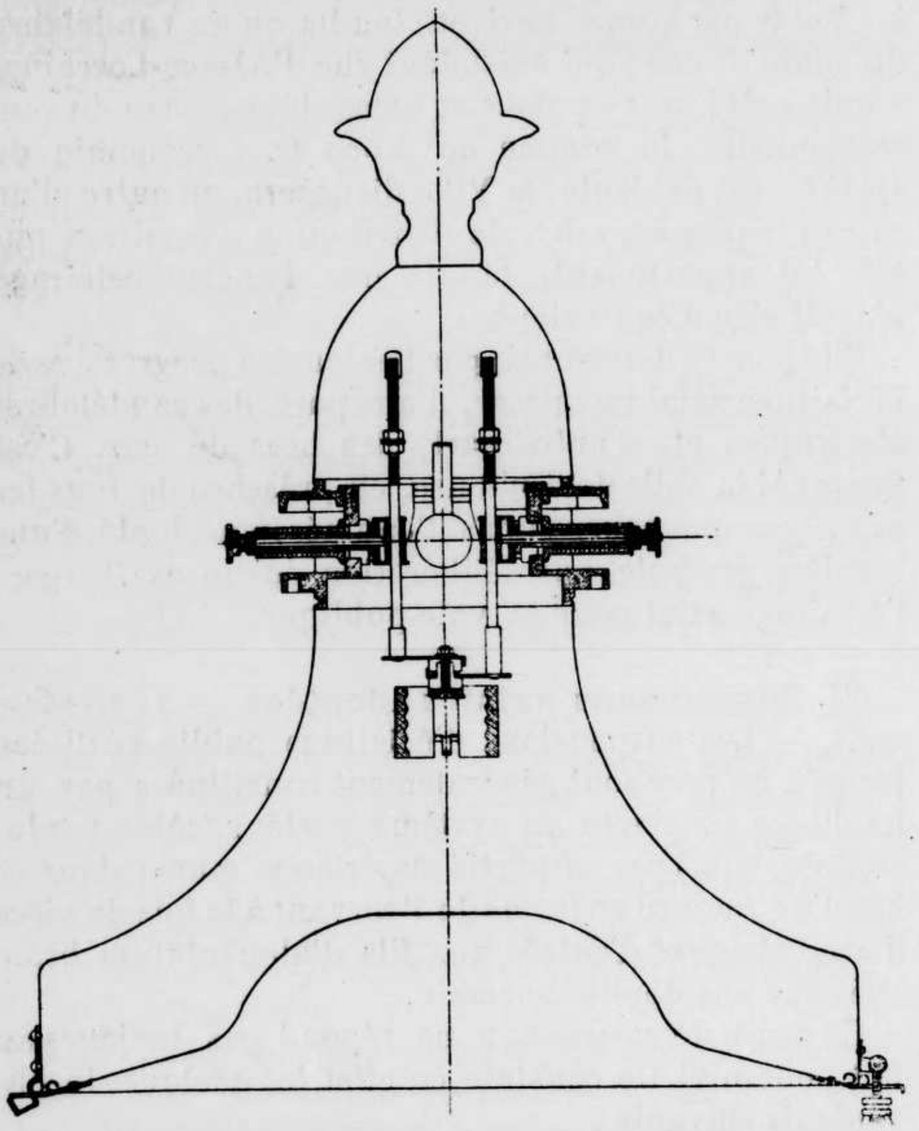


Fig. 4. — Croquis schématique du dispositif de fixation de la lanterne M. A. M. employée sur le réseau d'éclairage de la Ville de Toulouse.

à maintenir ainsi la couronne inférieure sur le tube de suspension sans toutefois serrer celui-ci.

La couronne supérieure qui porte le chapeau est munie de plusieurs tenons qui s'emboîtent dans les évidements ou rainures correspondantes de la couronne intérieure de façon à assurer un centrage et un guidage parfaits.

De plus, elle comporte deux dents spiraloïdales qui, par rotation, poussent les coins vers le centre, ce qui a pour effet de produire un serrage énergique des deux couronnes sur le tube. Ce système écartant l'emploi du filetage permet le démontage de la lanterne instantanément après de longues années de service.

2° *Principe électrique.* — L'alimentation et le réglage de la lampe sont assurés par une douille composée d'une chemise filetée coulissant par deux rainures sur un étrier terminé à sa partie inférieure par deux griffes.

Cet étrier est traversé à sa partie supérieure par un boulon dont il est soigneusement isolé. Deux languettes sont solidaires, d'un côté de deux tiges de réglage et, de l'autre côté, l'une du boulon isolé faisant office de plot central et dont la tête inférieure, en contact avec le culot de la lampe porte un évidement garni de métal mou, l'autre de l'étrier qui est lui-même en contact avec la chemise filetée.

Les deux tiges de réglage coulissent dans deux tubes solidaires de deux tiges horizontales passant dans deux isolateurs de traversée en porcelaine. Deux écrous, servant aussi de bornes de prise de courant, permettent par le déplacement des deux tiges horizontales de bloquer les deux tiges de réglage et, par suite, le point lumineux dans la position voulue. Quand la lampe est vissée à fond il se produit une légère flexion de l'étrier et les deux griffes viennent mordre sur le culot de la lampe l'empêchant ainsi de se dévisser.

3° *Avantages de la lanterne M. A. M.* — Nous citerons la suppression du balancement, la lanterne étant bloquée sur un tube fixe ; de plus, les pièces composant la suspension sont en nombre réduit et largement calculées, le métal employé est léger et inaltérable. Le serrage du culot par les griffes de l'étrier prévient toute chute de la lampe et cette sécurité est encore accrue par la construction spéciale de la douille dont toutes les pièces demeurent assemblées même en cas de rupture de l'isolant. La construction même des colliers permet une bonne étanchéité tout en assurant une ventilation énergique destinée à l'évacuation immédiate des buées, ce qui donne aux lampes une durée plus grande.

Le montage est des plus simples et s'effectue en quelques minutes : il suffit de présenter la couronne inférieure sous le tube, d'engager les deux coins, d'emboîter la couronne supérieure et de tourner jusqu'au blocage. Cette opération est facilitée par l'usage d'une clef spéciale qui s'engage dans une encoche ménagée à cet effet dans la couronne supérieure.

Le réglage du point lumineux s'obtient aussi très facilement et avec une précision absolue, verticalement en desserrant les deux prises de courant, horizontalement (ce qui a une très grande importance dans les alignements) par le déplacement latéral de l'habillage sur le tube ; cette disposition rend d'ailleurs inutile l'emploi de tendeurs.

Un autre avantage très important de ce dispositif est la valeur très élevée de la résistance d'isolement et l'absence absolue de points faibles où cet isolement pourrait avoir tendance à s'altérer avec le temps.

Enfin, ce collier, qui fait l'objet d'un brevet, peut s'adapter à tous les genres d'habillage et de suspension et particulièrement sur candélabres, le tube de suspension étant soutenu par une lyre, en faisant partie d'une crosse; sur consoles en porte-à-faux, fixées à des poteaux de tramways, des pylônes spé-

ciaux ou scellées dans les façades, les consoles pouvant atteindre jusqu'à 6 m de porte-à faux. Pour l'éclairage axial avec suspension et alimentation par tube, le tube supportant le collier est rattaché aux deux tubes latéraux par deux articulations qui permettent la flèche. Les conducteurs d'alimentation passent à l'intérieur de ces tubes et viennent aboutir à deux bornes placées sur les étriers de guidage des tiges de réglage, les écrous extérieurs ne servent plus alors qu'au réglage de la lampe. Pour l'éclairage axial par câble d'acier, le câble de suspension passe dans le tube support et s'y trouve bloqué par un dispositif analogue à un mandrin universel, il est directement tendu sur les façades sans épissures centrales, ni tendeurs. Néanmoins, il y a intérêt à intercaler un œuf en porcelaine de chaque côté du tube M. A. M. pour rompre la continuité du câble d'acier. Cette petite précaution, qui ne diminue pas la résistance du câble, a un double avantage, d'une part, elle renforce l'isolement général de la distribution axiale (un fil touchant la ferrure de l'isolateur qui le supporte n'est pas à la masse) et, d'autre part, elle empêche toute communication directe de la ligne axiale avec les fils téléphoniques rompus qui seraient tombés sur un câble tendeur.

VII. **Construction du réseau à haute tension et des lignes axiales.** — Lorsque la Ville de Toulouse a décidé d'installer l'éclairage axial, elle pouvait disposer de deux câbles souterrains triphasés à 13 500 v de 75 mm² de section, reliant l'usine génératrice du Ramier avec le Polygone, d'une part, et l'Arsenal, d'autre part, et d'une dérivation prise sur le câble du Ramier au Polygone pour alimenter la station de pompage de Bourrassol au moyen d'un poste de transformation de 250 kv-A. En effet, dans le traité intervenu en 1927 entre l'Atelier de Fabrication et la Ville de Toulouse, il était formellement prévu que la Ville aurait la faculté d'utiliser ces deux câbles pour relier ses postes de transformation à l'usine génératrice du Ramier.

La Ville de Toulouse a établi son réseau et ses installations d'éclairage axial par tranches successives ; le développement du nombre des lampes entraînant toujours un plus grand nombre de postes de transformation et, par suite, la pose de nouvelles canalisations en câble armé de sections diverses.

Examinons brièvement toutes ces étapes: le premier et le deuxième projets prévoyaient la pose de 200 lampes de 600 à 1000 bougies. Ces lampes ont été réparties en deux secteurs desservis l'un par le poste de transformation des Renforts, l'autre par celui du Capitole.

Le troisième projet voté en septembre 1927, comprenant 258 lampes a amené la Ville à créer deux nouveaux postes de transformation pour desservir deux autres secteurs d'éclairage, celui de Saint-Cyprien et celui de l'avenue de Muret.

Ces postes sont alimentés par le câble reliant l'usine du Ramier au Polygone.

Le 5 avril 1928, le Conseil municipal a décidé l'installation de 362 lampes nouvelles, quatrième tranche, pour compléter l'éclairage des boulevards et des principales artères de la ville. Il a fallu créer aussitôt deux secteurs de plus, l'un à partir du poste de transformation existant à Bourrassol, l'autre à partir d'une cabine placée au boulevard Lascrosses, à l'extrémité du câble reliant l'usine du Ramier à l'Arsenal prolongé à cet effet par un câble armé de 50 mm² de section.

Continuant son effort et encouragé par le succès obtenu auprès de la population par cet éclairage, le Conseil municipal a étudié d'autres extensions, et le 16 novembre 1928, il décidait l'installation de 993 lampes dans 40 200 m de rues mal éclairées au gaz, situées principalement dans les quartiers de la périphérie.

Il a fallu créer également quatre nouveaux postes de transformation et amorcer pour les desservir une boucle en câble armé de 3×75 mm² de section ; 5 500 m de canalisations souterraines ont été posés de ce fait en quelques semaines.

Toutes ces installations sont actuellement terminées et la ville possède un éclairage public qui comprend 1856 lampes. Elles absorbent une puissance instantanée de 600 kw qui leur est fournie par 10 postes de transformation judicieusement répartis dans la ville sur les canalisations à haute tension à 13 500 v partant du tableau de l'usine hydroélectrique municipale du Ramier.

Mais l'Administration municipale ne pouvait pas arrêter là les améliorations apportées à l'éclairage public de la ville. Des places, des rues importantes, de grandes voies de pénétration en ville où la circulation est toujours intense aux heures d'entrée et de sortie des ateliers, ne pouvaient pas rester dans une demi-obscurité. Toutes sortes de raisons s'y opposaient. Aussi a-t-elle entrepris l'étude d'un nouveau projet, une sixième tranche, qui ne comprend pas moins de 2807 lampes et comporte, en outre, l'installation de plusieurs kilomètres de câble armé, de quatre postes de coupure haute tension et de treize postes de transformation de 13 500/225 v.

Ce projet a été adopté par le Conseil municipal le 5 mars 1930. L'augmentation du nombre des postes de transformation branchés sur les câbles et la nécessité d'assurer le service sans interruptions appréciables a amené l'Administration à terminer l'ossature du réseau municipal à haute tension. En effet, il importe au plus haut point que tous les postes de transformation puissent être alimentés par deux câbles distincts, de manière à pouvoir assurer sans défaillance la continuité du service. Cette disposition donne le maximum de sécurité, car elle permet la réparation d'une zone quelconque de la boucle sans interrompre le courant distribué par n'importe lequel des postes qu'elle dessert. La boucle que l'on va réaliser est déjà exécutée en partie puisque un câble triphasé de 75 mm² de section part du poste de la place Intérieure Saint-Cyprien, passe à l'usine du Ramier, et longe les allées

Saint-Michel, et le canal du Midi jusqu'à l'avenue de Lyon. Il importe donc de prolonger ce câble principal le long du canal jusqu'au pont du Béarnais, puis de l'amener en passant rue du Béarnais, pont des Catalans et allées Charles de Fitte, rejoindre le point terminus actuel du câble de 75 mm² du Polygone. L'épine dorsale du réseau municipal sera alors une réalité. Au surplus, cette boucle sera heureusement complétée par la diagonale de même section qui va de l'usine du Ramier au poste de transformation du Capitole, à l'Arsenal pour finir au poste sur le canal du Midi. Désormais, de nombreux postes de transformation seront à l'abri des pannes de longue durée.

Le même projet prévoit la prolongation du câble de 3×30 mm² de Bourrassol jusqu'à la Cartoucherie où doit être installé un poste de coupure par les soins de l'Atelier de Fabrication d'Artillerie. Cette boucle secondaire avec le câble existant du Polygone assurera désormais la sécurité à l'Atelier de Fabrication et aux postes de transformation très importants de Bourrassol et des abattoirs (frigorifique et fabrique de glace).

Ensuite tous les secteurs nouveaux seront reliés à la boucle principale par des câbles souterrains de section appropriée qui participeront ultérieurement à des boucles secondaires dont ils constituent cependant l'amorce.

Tous les câbles posés sont établis pour une tension de service de 15 000 v; or, en réalité, cette tension n'est que de 13 500 v. Ils sont installés sous trottoir de préférence, entre deux lits de sable à 0,80 m de profondeur; leur présence est signalée par une couche de briques du pays. Dans les traversées de chaussées le câble est protégé par des buses en grès.

Les premiers postes de transformation construits comprenaient tous plusieurs transformateurs avec cellule indépendante et un jeu de barres à haute tension pour l'arrivée ou le départ de plusieurs câbles souterrains.

Mais par la suite, la Ville a dû envisager la construction de cabines en fer pouvant s'installer sur la voie publique. Ces cabines comprennent l'appareillage strictement nécessaire et un transformateur de 50 ou de 70 kv-a suivant la puissance des secteurs à desservir. Leur encombrement n'atteint pas 3 m². Néanmoins, les dimensions des nouvelles cabines ont été prévues un peu plus grandes pour permettre ultérieurement l'installation dans ces postes de transformateurs de 200 kv-a.

Ce projet comprend également l'installation de cinq postes de coupure. Ces postes seront équipés, sans transformateurs, avec deux jeux de barres à haute tension et des sectionneurs de 100 ou 200 a suivant l'importance des câbles qu'ils commandent. Leur rôle essentiel est de permettre, d'une part, l'ouverture de la boucle et, d'autre part, le branchement des câbles sur l'un ou l'autre côté de la boucle. C'est d'ailleurs grâce à la présence de ces postes que l'on pourra isoler pour réparations telle ou telle partie du réseau sans interrompre le service.

En résumé, le réseau à haute tension de la ville de Toulouse comprendra d'ici quelques mois, à l'achèvement des travaux que nous venons d'analyser, 38 500 m de canalisations souterraines à 13 500 v de 20 à 75 mm² de section; 27 postes de transformation et 5 postes de coupure. Grâce à cet ensemble de moyens, le fonctionnement de l'éclairage axial est assuré et ce mode d'éclairage peut être installé en n'importe quel point de la commune de Toulouse (agglomération ou banlieue).

Les câbles tendeurs des lampes axiales de 6 ou 8 mm de diamètre supportant les lampes sont fixées entre immeubles chaque fois que ceux-ci ont une hauteur suffisante (fig. 5) et, à défaut, entre pylônes. Les pylônes de tramways existants ont été judicieusement

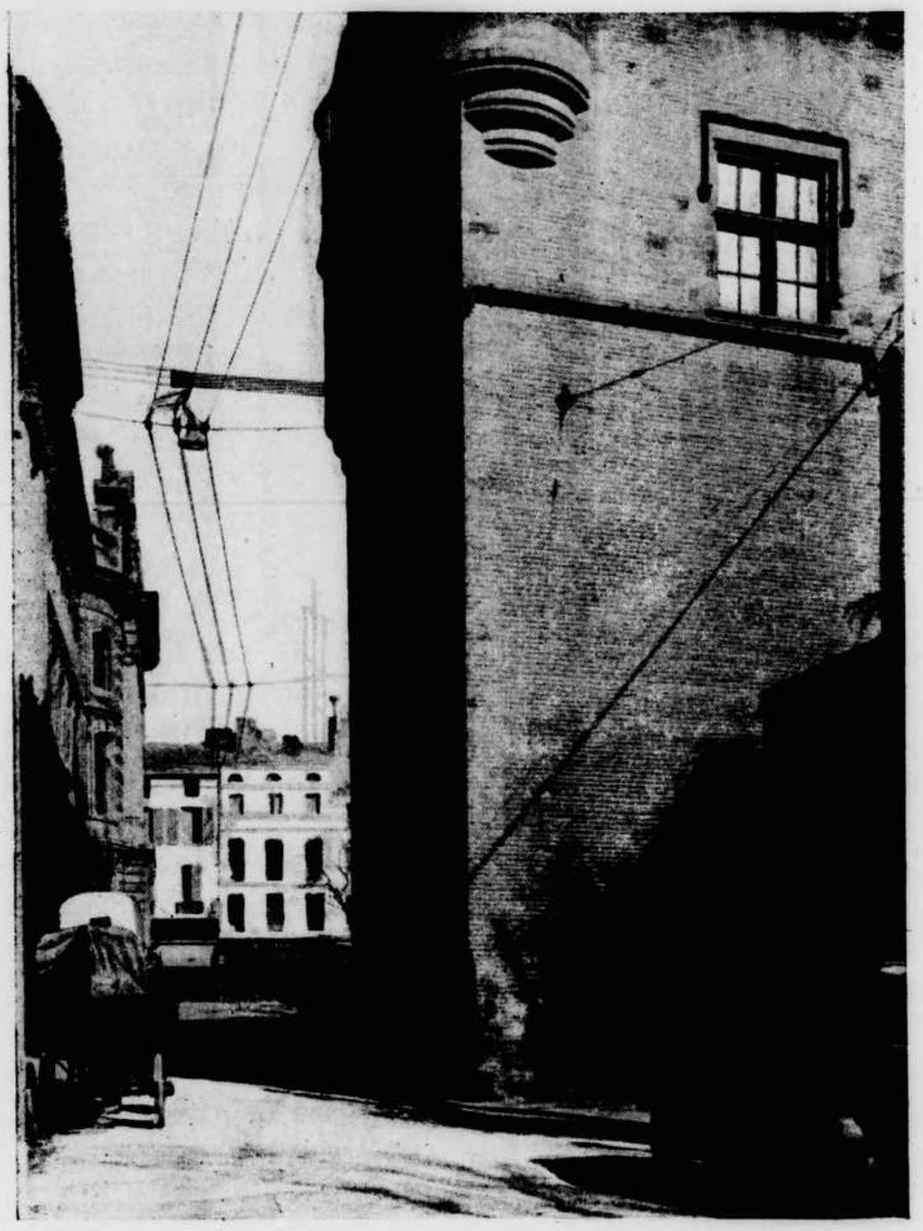


Fig. 5. — Vue d'un tendeur supportant une lanterne et des fils d'alimentation du circuit d'éclairage.

surélevés au moyen d'une rallonge tubulaire pour soutenir les lampes axiales chaque fois que les circonstances le permettaient. Enfin, lorsqu'il était impossible de placer des câbles transversaux on les remplaçait par des consoles supportant les lampes et la ligne d'alimentation.

Ces lignes se composent de trois conducteurs de section variant de 7 à 75 mm² sous 220 v en moyenne. Le fil neutre a été supprimé; chose naturelle car les lampes sont placées entre phases avec permutation

constante (1-2) (2-3) (3-1). Deux coupe-circuits fusibles, type aérien protègent chaque lampe; de même, chaque ligne triphasée possède à son départ du poste de transformation un interrupteur à couteau avec coupe-circuit calibré. Les lanternes installées dans tous

Fig. 6. — Vue des allées Jean-Jaurès, à Toulouse, montrant la disposition adoptée pour son éclairage.

les secteurs sont du même type et elles sont toutes placées à 9 m de hauteur ; mais lorsque les rues ont une largeur inférieure à 8 m, on met à leur place une lanterne de petit modèle avec une lampe de 150 w. Au-dessus de 8 m, au contraire, on installe des lanternes du modèle normal avec des lampes d'une puissance de 200 w, à moins que la surface à éclairer ou l'importance de la circulation n'imposent des foyers lumineux plus puissants de 300, 400 ou 500 w. Sur les boulevards du centre de la ville, l'éclairage est assuré par une double rangée de lampes axiales de 300 w supportée par deux câbles transversaux de 8 mm superposés analogues aux suspensions caténaires. Sur les allées Jean Jaurès (fig. 6) ou Alphonse Peyrat, par exemple, on a installé une triple rangée de lampes disposées en quinconce, de manière à obtenir un éclairage uniforme. La rangée centrale est formée par des lampes de 400 w et les deux extrémités par des lampes de 200 w.

Les sections des conducteurs vont en diminuant progressivement du poste aux lampes les plus éloignées qui parfois se trouvent à 1 700 m du point de départ. De telles distances ne peuvent être parcourues qu'avec la tension de 230 v qui a été adoptée dès le début. La chute de tension maximum admise est de 40 v ; elle n'est pas exagérée en valeur absolue et, au surplus, elle n'est ni sensible à l'œil ni nuisible à la régularité de l'éclairement, car les lampes qui fonctionnent en un point déterminé sont prévues pour la tension correspondante.

Dans les rues où les maisons sont trop basses, il est prévu des potelets ou des pylônes tubulaires en acier étiré absolument analogues à ceux des tramways (fig. 7).

Enfin, pour les installations situées en dehors des limites de l'octroi, on a prévu la substitution aux pylônes tubulaires de pylônes en fer en U entretoisés, légers et peu encombrants, dont la résistance mécanique est équivalente à celle des pylônes tubulaires pour un effort au sommet de 400 kg. L'Administration a conservé ainsi à ses installations toute leur solidité, sans nuire cependant à l'esthétique, et elle a réussi à

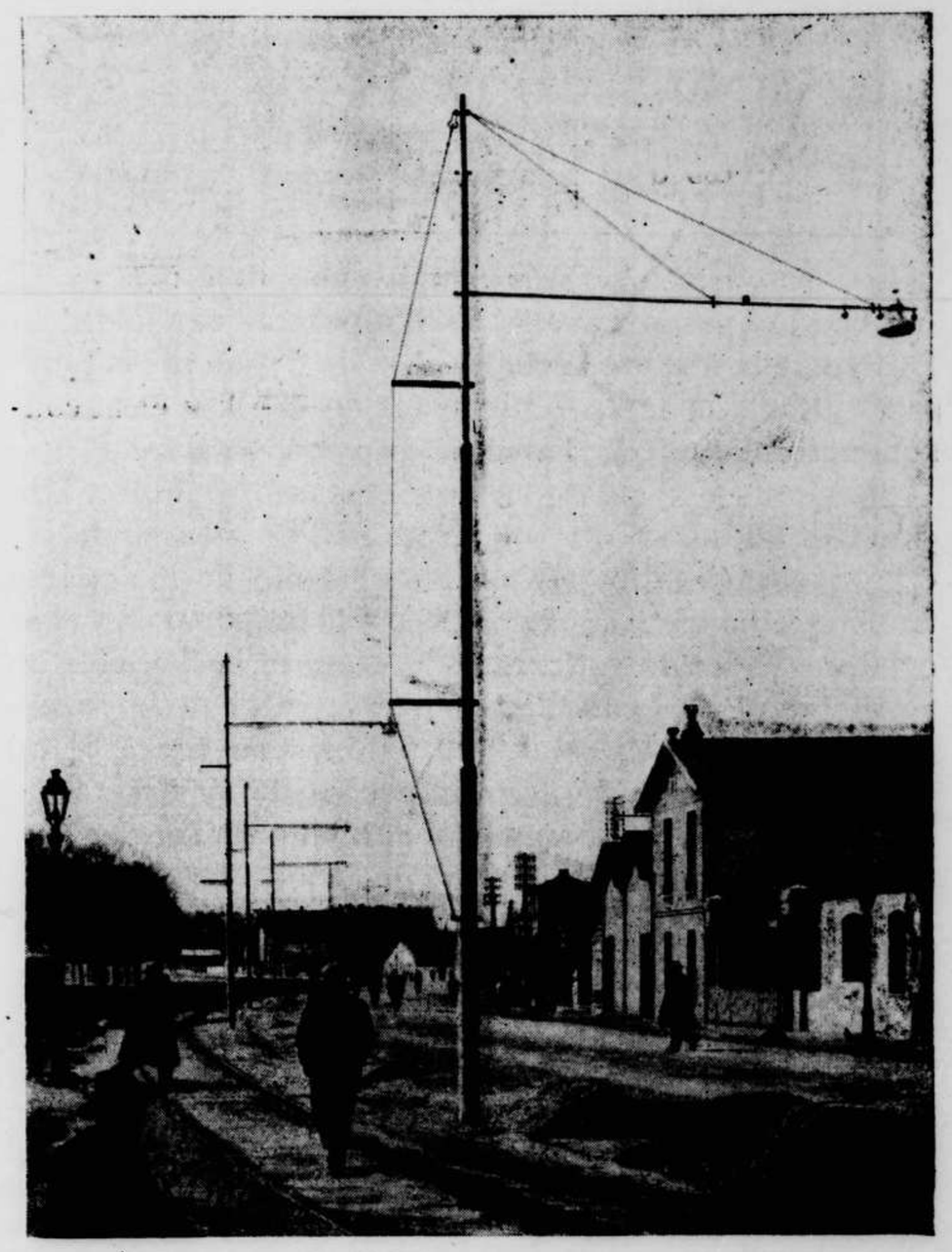


Fig. 7. — Vue de pylônes tubulaires avec consoles supportant les lanternes disposées pour l'éclairage axial de la rue.

réduire le prix de la lampe, car le pylône en fer en U est moins coûteux que le pylône tubulaire.

Comme il faut toujours beaucoup plus de pylônes dans les installations des quartiers de la périphérie que dans celles du centre où les maisons les rem-

placent, il était nécessaire de chercher un dispositif plus économique pour les régions où les rigueurs de l'esthétique peuvent s'en accommoder. En résumé, le prix de la lampe installée oscille entre 1570 fr et 4330 fr, pour se fixer en moyenne à 3125 fr. Notons que ce prix est très en rapport avec celui des anciennes installations pour lesquelles le prix de la lampe installée s'était élevé à 600 fr environ. Inutile de dire que le prix le plus bas correspond à des installations où il n'y a pas de pylônes, tandis que le prix maximum correspond à une installation comprenant en moyenne 1,415 pylône par lampe. Le tableau I comparatif des différentes tranches donne, à cet égard, des résultats intéressants.

TABLEAU I. — *Rapports des nombres de pylônes et de lampes dans les diverses parties du réseau.*

TRANCHES	LONGUEUR DE RUES	NOMBRE DE LAMPES	NOMBRE DE PYLÔNES	PROPORTION DE PYLÔNES
	mètres			centièmes
1	6 994	176	9	0,051
2	1 480	24	12	0,50
3	10 100	258	39	0,151
4	9 134	363	77	0,213
5	40 200	993	600	0,60
6	105 070	2 805	2 258	0,805

Les secteurs en service comprennent déjà :

1 862 lampes axiales et 51 lampes sur candélabres. La longueur des rues éclairées est de 67908 m ; la puissance totale de lampes installées de 600 kw et la consommation annuelle d'énergie de 2 200000 kw-h.

Signalons à ce sujet que toutes les lampes brûlent du coucher au lever du soleil. Ce réseau sera complété d'ici quelques mois par les installations de la sixième tranche, comprenant 2807 lampes, la longueur des rues éclairées étant de 105070 m, le nombre de potelets de 1083; celui des consoles de 1124; celui des pylônes tubulaires de 974; celui des pylônes en fer à U de 1284. La puissance des lampes installées sera de 564500 w et la consommation annuelle d'énergie pour cette nouvelle tranche de 2022 000 kw-h.

VIII. **Exploitation du réseau à haute tension et de l'éclairage**. — L'exploitation du réseau à haute tension et des postes de transformation est assurée par la Régie municipale de l'Electricité. L'entretien des lignes axiales et le remplacement des lampes sont effectués par le Service municipal de l'Eclairage. L'entretien des lignes n'a encore donné lieu à aucun travail ; malgré de fortes tempêtes, les suspensions axiales ont bien résisté et nous n'avons enregistré aucune rupture de fil de ligne ni de câble transversal. Les critiques faites à ce sujet sont sans objet car les lampes ne se balancent pas sous l'action du vent; seules quelques lampes se dévissent parfois, mais leur chute est exceptionnelle. Le remplacement des ampoules a lieu quotidiennement, le nombre de lampes brûlées ressort en moyenne à 17 unités par jour en hiver et à 13 en été. Ces chiffres tiennent compte des mauvaises journées avec grand vent ou fortes pluies. Tous les soirs, en effet, le personnel exécute deux rondes : l'une pour s'assurer que tous les secteurs se sont bien allumés, l'autre pour noter par leur numéro toutes les lampes éteintes.

Le service dispose d'une camionnette Ford dont le châssis supporte une échelle à coulisse, de 10 m, qui pivote sur un chevalet permettant à un seul agent de la dresser et de remplacer les ampoules dans le minimum de temps. L'ouvrier profite de cette occasion pour vérifier le centrage du point lumineux. L'allumage et l'extinction sont assurés automatiquement par les interrupteurs « Saia » ; l'entretien de ces derniers ne nécessite qu'un examen tous les mois pour corriger, s'il y a lieu, les écarts de la minuterie.

En résumé, l'entretien de ces installations est des plus simples et des moins coûteux, puisque quatre agents y suffisent, tant pour les rondes que pour le changement des ampoules. L'ancien éclairage qui comprenait 220 lampes dont 9 à charbons au lieu de 1913, nécessitait quatre agents et coûtait à la Ville 70000 fr par an, fournitures et main-d'œuvre comprises.

Maurice DAIGNAN,
Ingénieur électricien
des Services électriques de la Ville
de Toulouse.

L'emploi des supports en bois dans les lignes de transmission d'énergie électrique à très haute tension

L'emploi de bois pour la réalisation des supports des lignes de transmission d'énergie à des tensions de l'ordre de 100000 volts a posé un certain nombre de problèmes d'ordre électrique et mécanique et dont la résolution a été obtenue avec un plein succès sur des lignes construites aux Etats-Unis, notamment sur la ligne à 90000 volts de Leadville à Gilman dont il est question dans cet article. L'auteur donne une description de cette ligne établie dans la région des Montagnes Rocheuses où les conditions climatériques sont particulièrement sévères. Il expose les résultats des essais exécutés sur cette ligne et indique les particularités que présente son matériel d'équipement construit par l'Ohio Brass Co à qui nous sommes redevables d'un grand nombre de renseignements contenus dans cet article.

I. **Introduction**. — L'emploi des supports en bois dans la construction des lignes de transmission d'énergie électrique à très haute tension est assez répandu aux Etats-Unis, même dans le cas d'exploitations exigeant la plus grande sécurité. Le support en bois présente en effet, au double point de vue électrique et économique, des avantages

incontestables sur le pylône métallique, d'autant plus qu'afin de réduire le prix de ce dernier les marges de sécurité sont généralement réduites autant que possible, dans l'écartement des conducteurs, leur distance à la terre et leur isolement.

II. **Avantages et limitations d'emploi des supports en bois.** — Au point de vue électrique l'emploi du bois donne lieu à un isolement supplémentaire et à une meilleure répartition du champ électrostatique, ce qui crée une protection contre les amorçages à la terre par coups de foudre ou autres surtensions. La sécurité la plus grande est obtenue quand les traverses sont également en bois. Une telle traverse évite, de plus, les arcs de puissance à fréquence normale amorcés quand les oiseaux de grande envergure viennent shunter les isolateurs en se posant sur les traverses.

La comparaison des essais dont les résultats sont consignés dans le tableau I montre comment le bois peut être le plus avantageusement utilisé comme support.

TABLEAU I. — *Résultats d'essais d'amorçages à la terre d'isolateurs montés sur supports en bois.*

NUMÉRO DE L'ESSAI	TYPE DE L'ISOLATEUR	CARACTÉRISTIQUES DE L'ISOLATEUR	CARACTÉRISTIQUES DU MONTAGE	TENSION D'ESSAI A 70 000 p : s	OBSERVATIONS
1	O-B 12552	Tension de service 66 kv : Tension d'amorçage à sec à 60 p : s, 245 kv (eff.) : Tension d'amorçage sous pluie à 60 p : s, 135 kv (eff.).	Isolateurs montés sur tiges d'acier, traverses et poteau bois : tiges interconnectées et mises à la terre.	238 kv (tension de crête)	
2	Id	Id	Isolateurs montés sur tiges d'acier non interconnectés : traverses, jambe de force et poteau bois : fil de terre descendant le long du poteau (fig. 1).	334 kv (tension de crête).	L'arc jaillit du conducteur au fil de terre le long du poteau à une distance de 48 pouces (1,22 m environ). Cet essai montre la valeur d'isolement de la traverse en bois quand on fait usage d'un fil de terre ou paratonnerre.
3	Id	Id	Isolateurs montés sur tiges en bois, traverses et poteau bois : jambe de force en acier ; sans fil de terre.	590 kv (tension de crête).	L'arc éclate entre le conducteur et le boulon de fixation de la jambe de force sur la traverse.
4	Id	Id	Isolateurs montés sur tiges d'acier non interconnectées : traverses, poteau et jambes de force en bois : sans fil de terre.	735 kv (tension de crête).	Tension élevée jusqu'à 735 kv *sans amorçage.*
5	OB 25622 à capot et tige.	Chaîne de 7 éléments : distance entre éléments 121 mm ; diamètre de l'élément 254 mm ; longueur de chaîne 847 mm environ ; tension d'amorçage à sec à 60 p : s. 372 kv (eff.) ; tension d'amorçage sous pluie à 60 p : s. 268 kv (eff.) (sans corne ni anneau).	Chaîne montée sur support en bois avec traverse en acier : Support composé de deux poteaux assemblés en forme de H (fig. 2).	510 kv (tension de crête).	Tension élevée jusqu'à 510 kv *sans amorçage.*

Ces essais ont été effectués par les soins de « The Ohio Insulator Co » avec des isolateurs et le matériel de ligne de sa construction.

Il peut souvent arriver que la considération du point de vue mécanique fasse éliminer les supports en bois. En tous cas, il y a intérêt, pour ces derniers, à adopter une tension mécanique modérée des conducteurs et des flèches assez grandes, qui nécessitent des supports plus hauts mais accroissent leur sécurité. Dans ces conditions, de longues portées peuvent être adoptées, toutes précautions étant prises pour empêcher un rapprochement exagéré des conducteurs en cas de grand vent. La flexibilité du poteau en bois, tendant à diminuer l'inégalité des tensions mécaniques est, de plus, un avantage pour les supports d'arrêt. Il résulte, en effet, d'observations faites en exploitation que, s'il existe un nombre réduit de points d'arrêt, des surtensions mécaniques de courtes durées peuvent se développer le long de la ligne et il est arrivé avec des lignes chargées de givre que des pylônes d'extrémité aient été sérieusement endommagés de ce fait, alors que les pylônes de suspension avaient peu ou pas souffert. Dans le même ordre d'idées les angles très aigus sont à éviter ; il est préférable de les couper, si possible, par des portées supplémentaires. Il est recommandable aussi de munir les supports d'angle de chaînes de suspension simples ou donbles, qui prennent automatiquement la direction de l'effort résultant. Enfin, les crochets de suspension devront permettre un certain glissement du conducteur, tenuant à rétablir l'égalité des tensions mécaniques de part et d'autre.

Les lignes établies sur supports en bois peuvent donner une sécurité très grande à tous points de vue si tous ces détails sont soigneusement étudiés et si, de plus, la plus grande attention est apportée au choix du matériel. On verra, en effet, dans l'exemple cité ci-après, de la ligne des

Montagnes Rocheuses l'intérêt qu'on doit apporter en particulier à la limitation et à la répartition judicieuse des courants de fuite (pouvant provoquer les combustions de traverses) et également à l'isolement des haubans (ceux-ci constituant un point faible en cas de surtensions).

III. **La ligne des Montagnes Rocheuses**. — Cette ligne à 90000 v, récemment construite par la « Public Service Company of Colorado », et dont une étude a été publiée dans « Electrical World (1), est établie entre Leadville (Colorado) et Gilman (Colorado). La région qu'elle traverse n'est qu'un âpre désert montagneux parsemé d'anguleuses falaises rocheuses, de hauts pics et de cañons

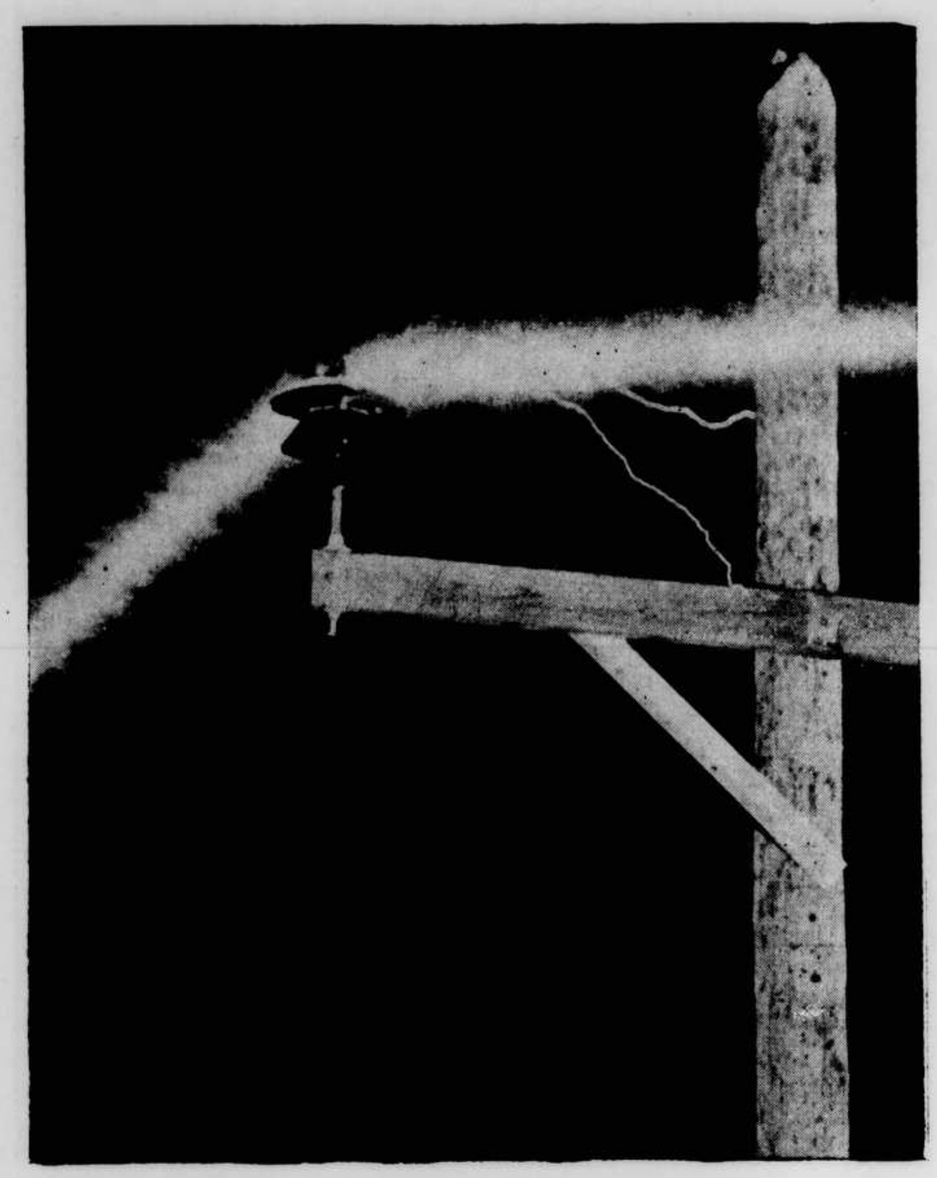


Fig 1. — Vue d'un amorçage à 334 kv (tension de crête) et 70 000 p : s entre isolateur et poteau en bois muni d'un fil de terre situé à 1,22 m du conducteur. Traverse et jambe de force en bois.

profonds et abrupts. Sa plus basse altitude est de 2650 m au-dessus du niveau de la mer et sa plus haute, au col de Frémont, de 3430 m. Sa longueur est de 50 km environ. Durant l'hiver, la température descend couramment jusqu'à — 45 C. Les précipitations se font invariablement sous forme de neige. Les avalanches sont fréquentes et d'une violence telle qu'il est essentiel que leurs trajets

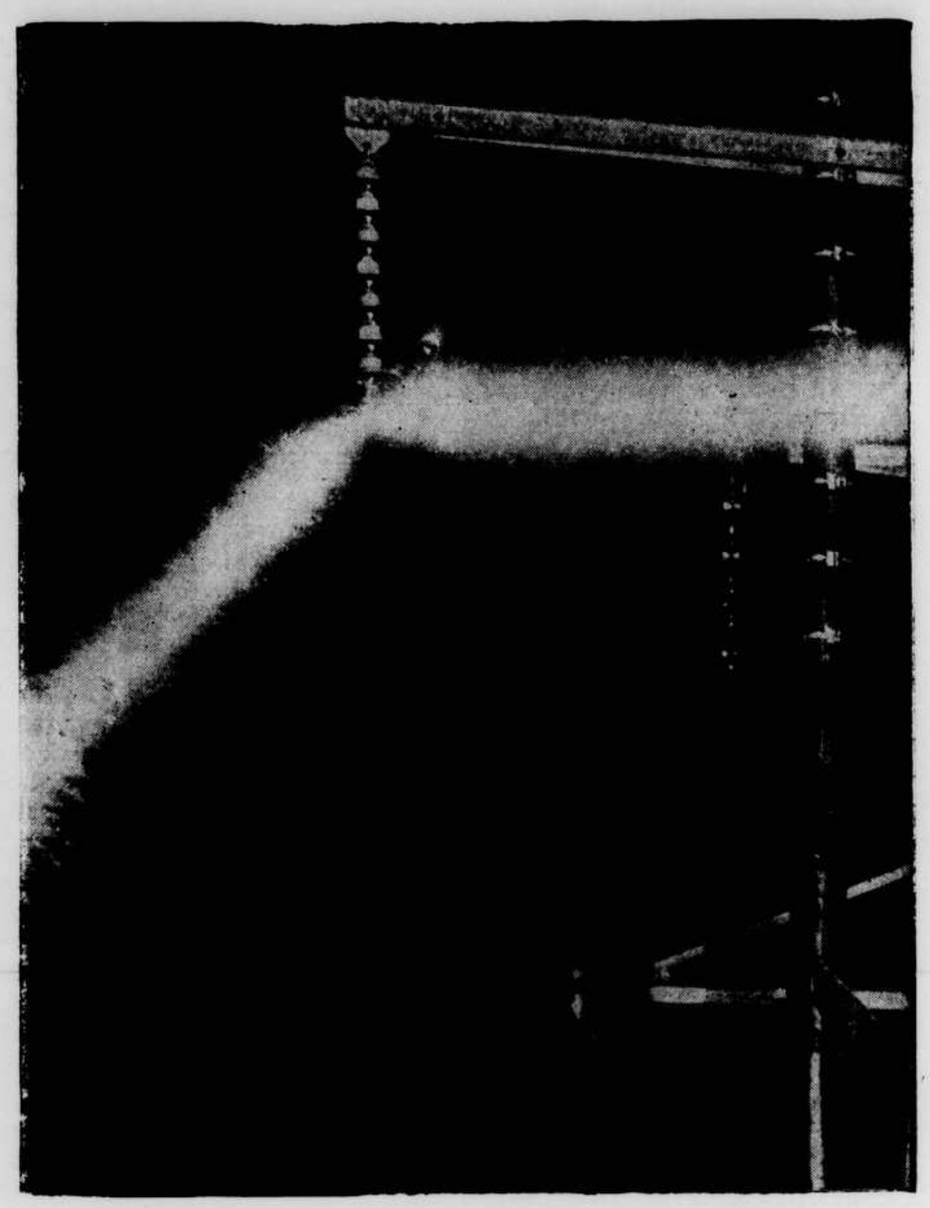


Fig 2. — Essai d'amorçage sur chaîne de 7 éléments montée sur support en bois et traverse en acier : la tension a été élevée sans amorçage jusqu'à 510 kv.

soient étudiés et soigneusement évités. Les vents atteignent de grandes vitesses, mais ne sont pas cycloniques Malgré ces conditions très dures, deux facteurs décisifs étaient favo-

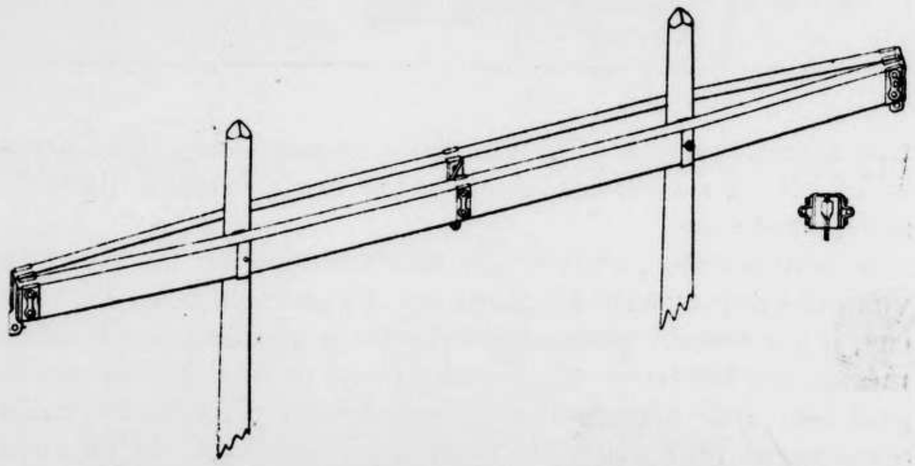


Fig. 3. — Vue d'une traverse en bois Ohio Brass Co à double barre pour support en forme de H.

rables à l'usage du bois, l'absence de grêle et la sécheresse de l'air. Cette sécheresse et la haute altitude font subir au bois un traitement naturel, ayant à la longue les mêmes effets qu'un traitement par le vide et qui est excellent pour sa longévité. De plus, les difficultés inouïes rencontrées

(1) L.-M. Robertson. *Electrical World*, 14 septembre 1929, t. xciv, p. 522-525, résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 7 décembre 1929, t. xxvi, p 202 D. Au sujet de ce résumé, il y a lieu d'apporter les rectifications suivantes :

18e ligne. Il est imprimé : « A cette traverse sont suspendues trois chaînes d'isolateurs composées de 7 éléments et ayant une longueur de 3 m environ ». Il ne s'agit pas là des isolateurs de ligne, mais des nouveaux isolateurs en bois de 3 m de longueur en une seule pièce de bois imprégné et inséré dans les haubans des poteaux selon la disposition créée par The Ohio Brass Co.

20e ligne. Les isolateurs de ligne sont établis pour présenter un effort de rupture de 4 t et non de 12 t. ce dernier chiffre concerne l'effort de rupture des isolateurs des haubans en bois.

22e ligne. Il faut lire « L'effort dû à la traction ne dépasse pas 2 t », valeur adoptée pour le tirage dans les conditions les plus défavorables et non 5,5 t comme il est indiqué.

lors de la construction eussent rendu celle-ci d'un prix prohibitif avec tout autre matériau plus lourd que le bois. Il fut donc décidé d'utiliser des supports entièrement en bois constitués par deux poteaux jumelés munis de traverses également en bois. Les trois conducteurs furent disposés en nappe horizontale et distants de 3,90 m environ. Les chaînes ont été constituées par sept isolateurs à capot et à tige de 254 mm de diamètre. La longueur de la chaîne est de 847 mm environ. A la suite d'essais aux ondes à front raide effectués sur ces supports et dont les résultats sont résumés dans le tableau II, ils furent montés sans fil de

TABLEAU II. — *Résultats d'essais d'amorçage à la terre, sous tension de choc, des supports de la ligne des Montagnes Rocheuses.*

NUMÉRO DE L'ESSAI	CARACTÉRISTIQUES DES ISOLATEURS	CARACTÉRISTIQUES DU MONTAGE	TENSION D'AMORÇAGE (IMPACT) kv
1	Chaîne constituée par 7 isolateurs du type à capot et tige, de 10 pouces de diamètre (254 mm).	Avec fil de terre le long de chaque poteau et ferrures à la terre.	580
2		Sans fil de terre aux poteaux : liaisons entre ferrures.	800
3		Fil de terre aux poteaux : ferrures non reliées.	1150
4		Sans fil de terre aux poteaux : ferrures non reliées.	> 1700

terre ni liaison des armements entre eux. L'objection qu'on peut faire à cette disposition est qu'elle ne protège pas le

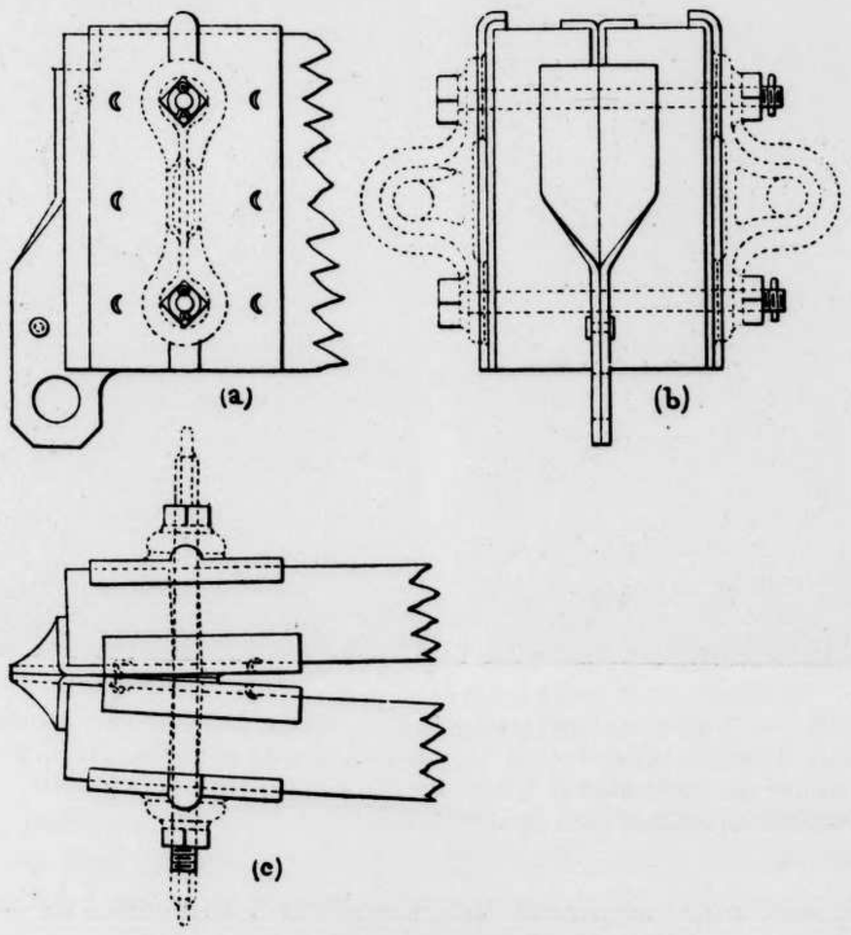


Fig. 4. — Vue des pièces d'assemblage pour extrémité de traverses.

support lui-même contre la foudre, mais le piquetage de la ligne fut soigneusement établi afin d'éviter les points généralement frappés par la foudre. Des fils de terre aux poteaux et des liaisons aux ferrures furent disposés sur une longueur de 800 m environ de part et d'autre des sous-stations.

Deux points très délicats étaient encore à étudier : d'une part, l'éventualité des combustions de traverses et, d'autre part, l'isolement des haubans qui devait être réalisé de telle sorte que les tensions d'amorçages à la terre pour les supports haubannés ne fussent pas moins élevées que pour

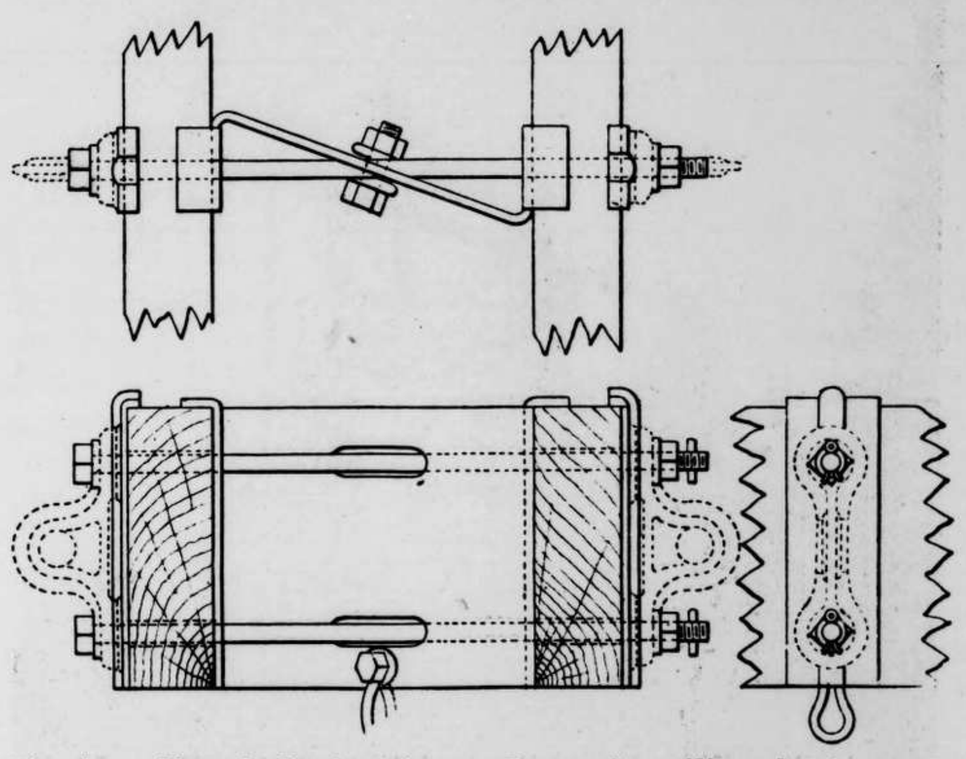


Fig. 5. — Vue de l'entretoise en Z pour le milieu des traverses représentées en figure 3 et du dispositif de suspension de la chaîne centrale.

les supports non haubannés. Quant au danger de combustion des traverses, il fut totalement écarté par les dispositions décrites ci-dessous. D'ailleurs l'air de la montagne, sec, exempt de sel et de poussières, est peu favorable à la circulation de courants de fuite exagérés.

IV. **Traverses et ferrures spéciales de l'Ohio Brass Company.** — Une très importante caractéristique de la ligne dont il est question ici résulte de l'emploi des « plaques de traverses » spéciales créées par l'Ohio Brass Company et qui y furent pour la première fois utilisées. Ces plaques enserrent pratiquement les traverses aux

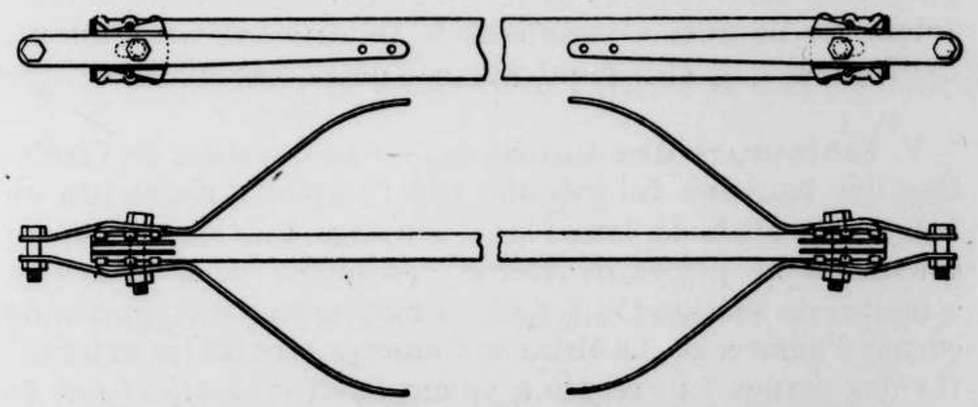


Fig. 6. — Vue de l'isolateur en bois pour hauban, de l'Ohio Brass Co.

points de fixation aux poteaux et aux points d'attache des isolateurs. En ménageant en ces points cette surface métallique relativement grande, une concentration des courants de fuite aux boulons est évitée et la densité de courant dans le bois est partout plus faible qu'au contact des boulons dans le système de fixation ordinaire, ce qui constitue une excellente protection contre sa combustion. De plus, ces

plaques ont été étudiées pour créer une bonne répartition du champ électrostatique au sommet des chaînes et augmenter également la solidité de la suspension. Cette solidité mécanique est obtenue par l'emploi de deux traverses fixées ensemble à leurs extrémités, de manière à former un châssis de forme polygonale. Ce dispositif élimine les colliers de traverses et l'effort qu'il peut supporter est au moins dix fois plus grand que celui dont seraient capables deux bras

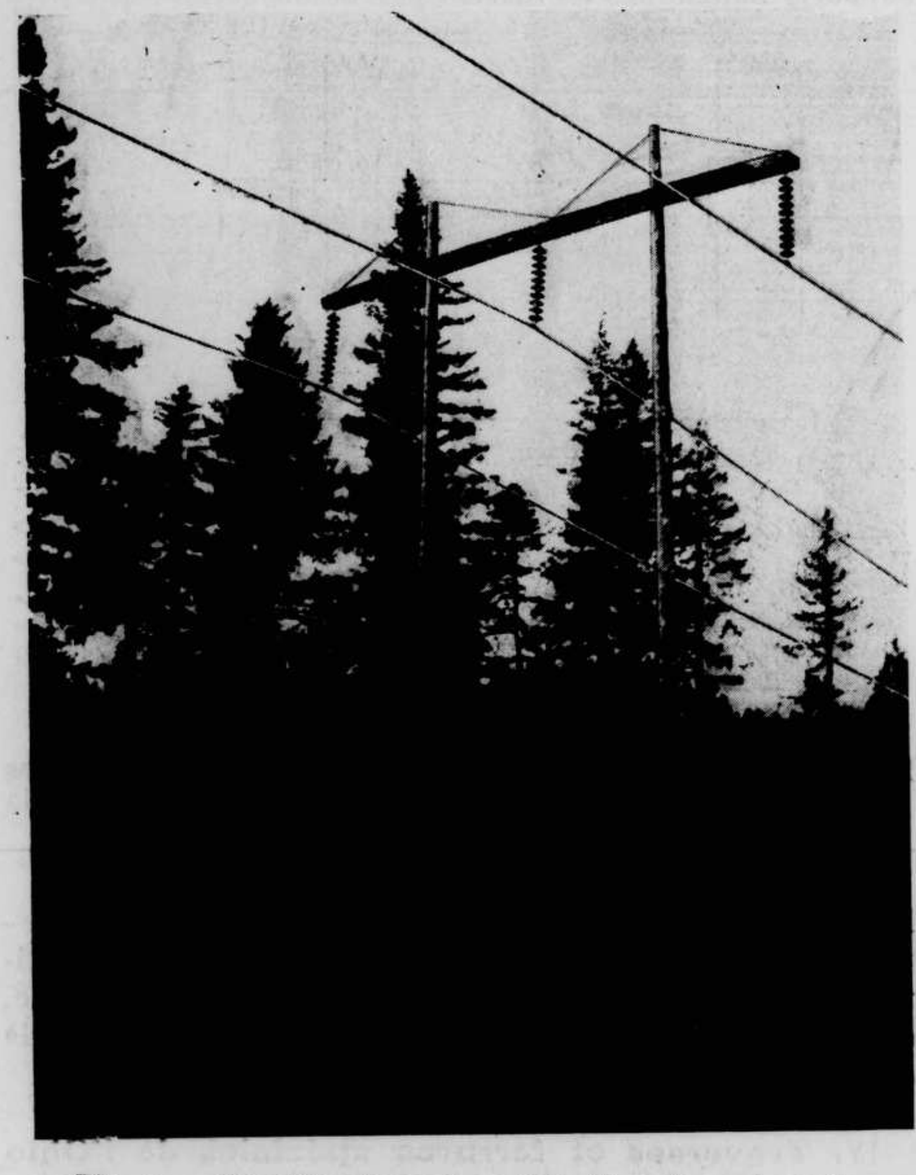


Fig. 7. — Vue d'un support en bois d'une ligne à 110 kv de la Pacific Gas Company.

agissant comme poutres en porte-à-faux. Des pièces d'acier sont, en outre, placées entre les traverses aux extrémités. Elles sont pourvues de dents qui, s'enfonçant dans le bois, aident les boulons à maintenir la solidité de l'assemblage. Les figures 3, 4 et 5 montrent ces détails de construction.

V. **Isolateurs des haubans.** — La question de l'isolation des haubans fut résolue par l'emploi d'isolateurs en bois de 10 pieds de long (304,8 cm) (fig. 6). Ceux-ci furent constitués de pièces de chêne créosotées de 4 inches × 2 inches de section (51,6 cm²) et munies aux extrémités de cornes d'amorçage. La distance d'amorçage entre les extrémités des cornes fut réglée à 20 cm environ. L'effort sur le bois est transmis par les ferrures d'attache au moyen d'un ingénieux dispositif composé de crampons cunéiformes maintenus par un boulon légèrement plié. Ces isolateurs peuvent supporter, d'après les essais effectués, un effort de 10 900 kg.

VI. **Caractéristiques complémentaires de la ligne des Montagnes Rocheuses.** — Le bois des traverses n'a été l'objet d'aucun traitement préservatif et est utilisé brut. Ce sont des pièces de sapin de 7,90 m de longueur environ et de 194 cm² de section (25,8 cm × 7,6 cm). Les poteaux qui furent utilisés sont en cèdre rouge. Les conducteurs en aluminium sont du n° 3/0 de l'A. C. S. R et ont une section de 85,03 mm². La portée moyenne est de 250 m environ; la plus longue est de 620 m. Les conditions limites imposées étaient de 6,35 mm de glace sur le conducteur à 0° F (—17°,8 C), avec un vent de 40 kg : m², ou une température de —45°C, sans glace ni vent. L'expérience montre que c'est le cas à cette température. A 3 000 m d'altitude la densité de l'air est faible et une pression du vent de 40 kg : m² représente une très grande vitesse. La flèche des conducteurs fut réglée, dans ces conditions, de manière que la tension maximum du fil fût de 1 815 kg. Cette tension étant proche de la limite d'élasticité du métal, des amortisseurs de vibrations furent disposés aux crochets de suspension.

Bien que l'emploi de parafoudres soit à peine justifié dans les conditions précédemment indiquées, on a utilisé des parafoudres à cornes aux entrées des sous-stations.

Les postes de coupure ont été constitués par des interrupteurs multipolaires montés sur châssis en fer ou en bois

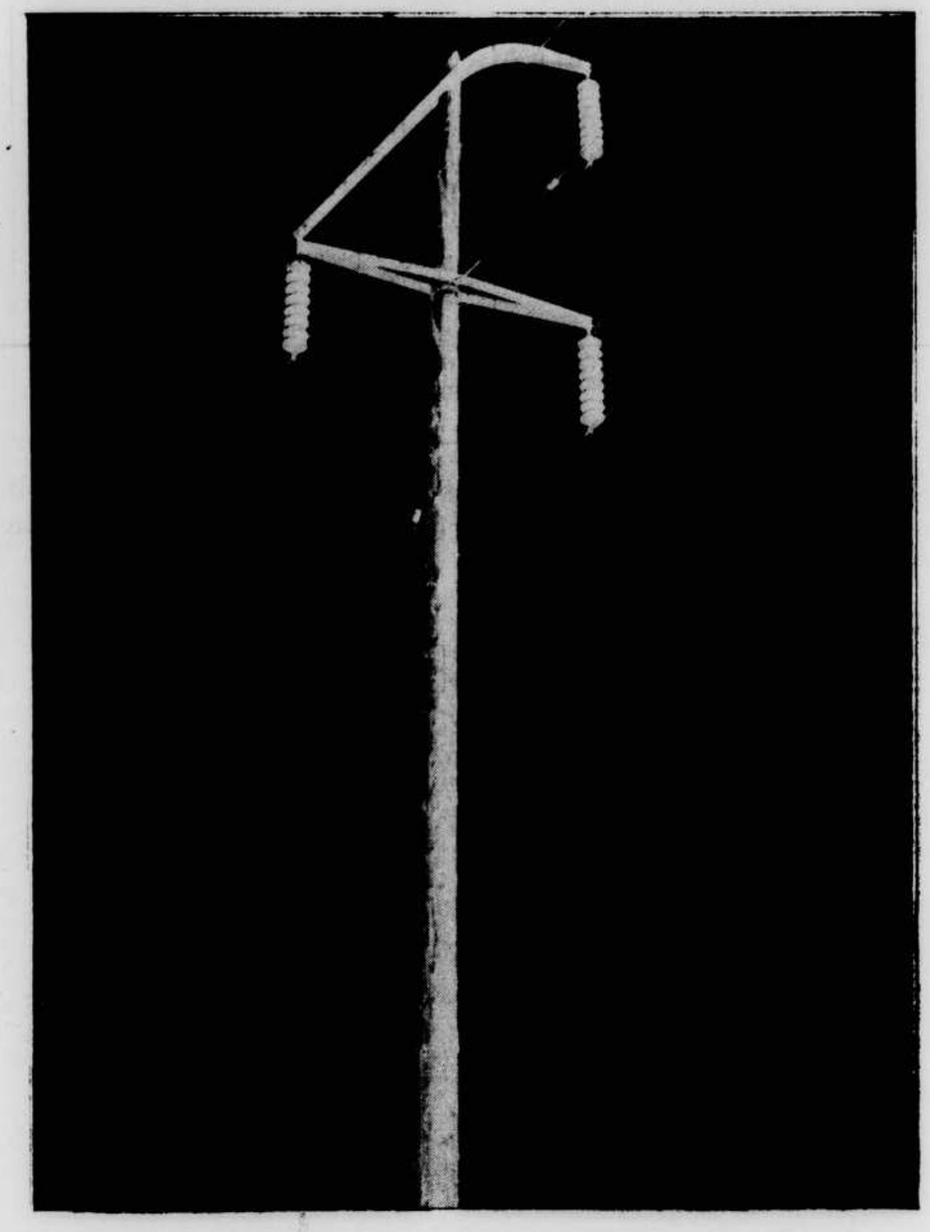


Fig. 8. — Vue d'un support en bois d'une ligne à 120 kv de la San Joaquin and Power Co; isolateurs O-B 25621 (tableau I), chaîne de suspension à 8 éléments sans corne ni anneau; conducteur d'aluminium de 135 mm².

disposés aux sommets de supports composés de trois poteaux en bois.

VII. **Autres exemples de lignes à haute tension sur supports en bois.** — Les figures 7 et 8 montrent des types de supports en bois avec montages différents des

traverses ou des chaînes d'isolateurs. Ces figures se rapportent respectivement à des lignes à 118 kv et 120 kv. Les légendes des figures donnent les caractéristiques principales de ces équipements.

Généralement, pour ces supports, on observe, suivant les cas, les distances suivantes entre conducteurs ou entre conducteurs et poteau.

1° *Conducteurs en nappe horizontale.* — Dans ce cas, en supposant l'absence du fil de terre et d'une liaison entre armements, on adopte 3 m entre chaînes et 2,40 m entre chaîne et poteau avec fil de terre au poteau, pour des chaînes de 5 éléments par exemple; ces distances sont portées à 3,90 m entre chaînes pour, par exemple, des chaînes de 7 éléments, avec des supports ne comportant pas de mise à la terre;

2° *Conducteurs superposés.* — On adopte une distance de 2,20 m entre conducteurs pour des chaînes de 5 éléments et de 4,40 m pour des chaînes de 10 éléments.

Ces distances s'entendent pour des éléments du type ci-dessus mentionné de 264 mm de diamètre et de 121 mm de distance entre éléments.

M. Roseau,
Ingénieur E. S. E.

Revues, analyses et informations

Le redresseur à jet de mercure (1).

1. Introduction. — Le redresseur à jet de mercure est un dispositif purement mécanique, qui, dans le cours de ces quinze dernières années, s'est orienté vers le redressement des courants de forte intensité (2).

Le jet de mercure qui, dans cet appareil, est l'organe mobile, forme un conducteur flexible de commutation. La production de ce jet nécessite un circuit hydrodynamique complet entretenu par une pompe. Dans la chambre de commutation, la vitesse du jet est maintenue constante et sa forme sinusoïdale est provoquée par l'action d'un champ constant créé par deux électroaimants extérieurs à la chambre, sur un courant alternatif auxiliaire passant à travers le jet et fourni par un transformateur auxiliaire Vä (fig. 1). Le jet passe entre les électrodes juxtaposées E avec

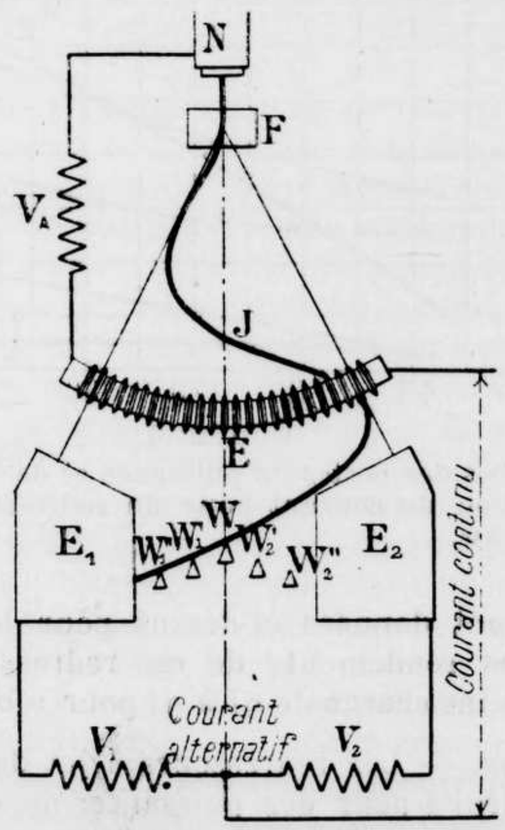


Fig. 1. — Disposition schématique du redresseur à jet de mercure.

lesquelles il est toujours en liaison et fait contact alternativement avec les électrodes principales E_1 et E_2. En passant de l'une à l'autre de ces dernières, il est coupé par les couteaux W Pour le redressement du courant alternatif, le jet est assujetti à avancer d'une demi-longueur d'onde pendant une demi-période de la tension alternative, ce qui est obtenu en utilisant pour la production de l'onde de mercure un courant en phase avec la tension à redresser. De plus, la coupure du jet par les couteaux est effectuée quand la valeur de cette tension est nulle, ce qu'on obtient en ajustant la distance entre le champ constant auxiliaire F et les électrodes E_1 E_2. L'auteur montre comment un redresseur industriel de grande capacité peut être établi sur les bases du principe simple qui vient d'être exposé.

2. Caractéristiques du jet. — Comme la position des électrodes principales E_1 E_2 dépend de la vitesse du jet, cette vitesse doit être tenue sensiblement constante, entre d'étroites limites : elle ne devra pas varier, par exemple, de plus de 1 à 2 pour 100. Comme le jet est produit par un réservoir en charge, sa vitesse est donnée par la formule de Torricelli

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Sa masse par centimètre de longueur est

$$m = \rho \frac{\pi d^2}{4},$$

ρ étant la masse spécifique du mercure, d le diamètre du jet et h la charge sur l'ajutage. Avec un ajutage tronconique (fig. 2), le diamètre α est déterminé par la relation

$$d = c_c d_0,$$

où d_0 est le plus petit diamètre de l'orifice et c_c le coefficient

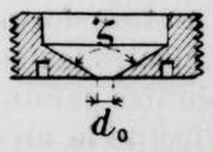


Fig. 2. — Ajutage de projection du jet de mercure.

de contraction. Avec un angle au centre de 120°, qui est celui généralement adopté pour l'orifice, ce coefficient est de 15 pour 100 environ.

Pratiquement la vitesse v ne varie pas de plus de 0,6 pour 100 pour des appareils où elle a été portée à 6 m : s, ce qui est un maximum. Pour des vitesses plus faibles les fluctuations seraient également plus faibles. Elles seraient plus élevées dans le cas d'orifices de projection cylindriques ou coniques mais de faible angle au sommet.

(1) J. Hartmann *Journal of the Institution of electrical Engineers*, août 1930, t. lxviii, p. 945-969, 10 000 mots, 34 figures, 8 tableaux.

(2) Voir à ce sujet : A. Latour; Quelques résultats d'essais des convertisseurs à balais liquides. *Revue générale de l'Electricité*, 27 septembre 1930, t. xxviii, p. 487-495.

3. Pertes diverses.— Ces pertes sont afférentes au groupe motopompe, à l'électroaimant et au courant alternatif auxiliaire. La question du rendement de la pompe est de grande importance. Il a été reconnu, en effet, que les meilleurs résultats sont obtenus par des pompes à vitesse relativement lente. Ainsi, pour un redresseur hexaphasé à 50 p : s, une pompe tournant à 1 400 t : m sera préférable à une pompe fonctionnant à une vitesse double.

La pompe est du type centrifuge et entraînée par un moteur asynchrone. Les courbes de variation de la pression de refoulement, du rendement de la pompe et du rendement du groupe motopompe, en fonction de son débit, pour un appareil capable d'élever 1 200 cm³ de mercure à 3.5 m montrent qu'une pression de refoulement correspondant à une hauteur de 600 cm de mercure est nécessaire pour compenser les différentes pertes de charge dans les tuyauteries. On peut se baser sur le rendement de 30 pour 100 pour le groupe qui, même pour des pompes plus puissantes, ne peut guère être dépassé. Les pertes, de ce fait, sont de 0,5 à 0,6 pour 100. Les électroaimants sont excités par le courant redressé, si possible, ou par une petite génératrice à courant continu accouplée à l'arbre de la pompe. Les sections de fil et les pertes sont déterminées en fonction de l'échauffement admissible.

L'auteur donne,au cours de l'article,des exemples de calcul d'après lesquels on peut obtenir, pour des redresseurs différents, des pertes dans les électro aimants de 0,42 à 0,70 pour 100 de la puissance des appareils (redresseurs de 33,3 kw, 180 v et 20 kw, 75 v).

Pour ces mêmes appareils,les pertes dues au courant alternatif auxiliaire sont de 0,3 à 0,4 pour 100.

4. Electrodes principales. — La commutation est accompagnée d'un phénomène transitoire donnant naissance à un arc dû principalement aux champs de fuite du transformateur, l'effet de ces champs étant comparable à celui d'une inductance supplémentaire introduite dans chaque branche du transformateur d'alimentation. L'énergie réactive accumulée d'un côté, en s'annulant et en réapparaissant de l'autre côté, donne naissance à cet arc.

La principale difficulté rencontrée dans la construction de ces appareils, a été la réalisation d'un dispositif capable de couper ces arcs sans amener de détérioration rapide. Le problème a été résolu par l'adoption de couteaux en tungstène (fig. 1). Pour une commutation normale, ces couteaux doivent être réglés de manière que les électrodes principales soient mises en court-circuit pendant un temps très court au moment du « recouvrement » des ondes redressées (2 à 3 pour 100 d'une demi-période); mais, malgré les précautions prises pour réduire cette durée, le courant de court-circuit est préjudiciable au transformateur quand il s'agit de puissances élevées. Les électrodes sont alors composées de deux pièces distinctes réunies par une résistance par l'intermédiaire de laquelle s'effectue la mise en court-circuit.

On a reconnu la nécessité pour les installations de grande puissance, d'accroître l'inductance propre du transformateur par des bobines d'inductance auxiliaires, toujours dans le but de diminuer l'importance du court-circuit. Ces dispositions diverses assurent une bonne stabilité en empêchant le maintien de l'arc. De plus, la chambre de commutation est remplie d'hydrogène, ce gaz pouvant absorber l'énergie des arcs tant que leur durée n'excède pas le temps nécessaire à l'absorption.

5. Pertes par commutation et rendements. — L'auteur indique une méthode expérimentale de détermination des pertes dans les arcs, qui consiste à mesurer ensemble les pertes dans le jet, par effet Joule P_2, les pertes par effet Joule dans les résistances des électrodes P_3, et les pertes dans les arcs P_1. Les pertes P_2 et P_3 pouvant être facilement calculées, P_1 s'en déduit par soustraction.

La figure 3 donne sous forme de courbes les valeurs ainsi trouvées pour un appareil de 100 kw à 230 v, composé de

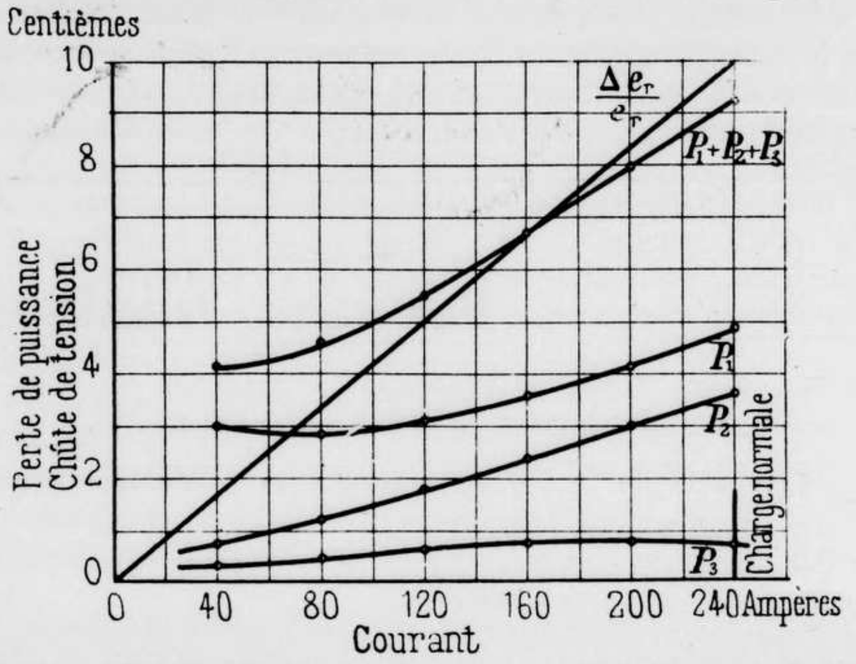


Fig. 3. — Courbes des pertes de puissance et de la chute de tension en fonction du courant pour un redresseur d'une puissance de 100 kw.

six commutateurs (3 paires en série). La figure 4 donne les valeurs des mêmes grandeurs, pour un appareil de 200 kw à 550 v composé de commutateurs de même type, mais comportant des bobines d'inductance en série. Il résulte des

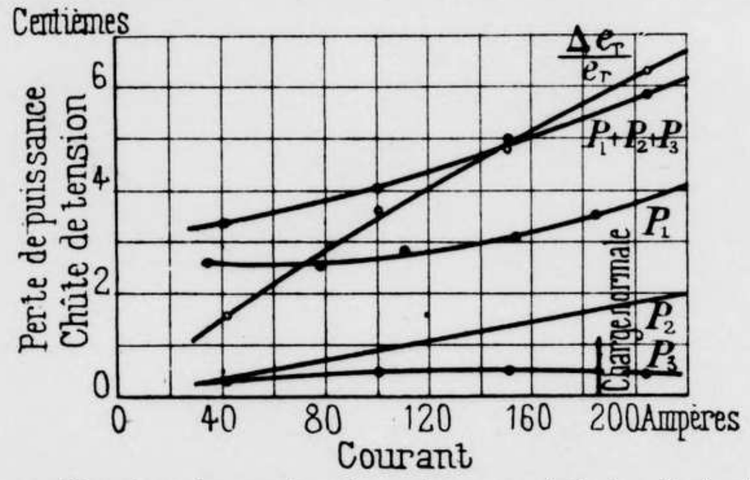


Fig. 4. — Courbes des pertes de puissance et de la chute de tension en fonction du courant pour un redresseur d'une puissance de 200 kw.

valeurs qui sont données ci-dessus pour les différentes pertes que les rendements de ces redresseurs peuvent atteindre à pleine charge de 91 à 94 pour 100.

6. Conclusion. — Les redresseurs à jet de mercure ont déjà été construits pour des puissances de 200 et 300 kw (avec 6 commutateurs), mais selon l'auteur, des appareils d'une puissance quelconque peuvent être construits sur les mêmes bases. On peut prévoir que les rendements seraient meilleurs et que la quantité de mercure requise par kilowatt serait plus faible. La tension de chaque commutateur étant faible, il y a intérêt à réduire le plus possible les chutes de tension. Dans cette voie, des progrès peuvent encore être réalisés avec des électrodes spécialement étudiées.

Enfin, l'auteur ajoute que dans certaines conditions le redresseur à jet de mercure est susceptible de convertir le courant continu en courant alternatif. — M. R.

Essais en usine d'un turboalternateur de 43 750 kilovolts-ampères (1).

1. Introduction. — En raison des puissances sans cesse croissantes des turboalternateurs, il devient de plus en plus difficile de réaliser, surtout en usine, les essais d'échauffement à pleine charge et avec le facteur de puissance correspondant au fonctionnement réel. On se place alors dans des conditions très voisines de celles de la pleine charge en faisant produire au stator sa tension normale et l'intensité du courant normal avec une charge purement réactive, ce qui ne nécessite qu'une dépense d'énergie qui n'est qu'une fraction de la puissance de la machine. Pour réaliser ces essais, on branche l'alternateur en essai à un ou plusieurs autres alternateurs dont la puissance totale est équivalente à la sienne et qui fonctionnent en moteurs synchrones avec une excitation réduite, toutes les machines tournant à la vitesse synchrone. L'excitation de l'alternateur en essai est légèrement supérieure à sa valeur en fonctionnement normal, afin d'obtenir aux bornes du stator la tension normale. Dans ces conditions, il ne se produit pas d'échange d'énergie entre la machine essayée et celles servant aux essais, alors que cette dernière se trouve dans les conditions normales de tension et de flux avec un courant d'intensité égale à celui de pleine charge dans les enroulements du stator ; le rotor étant parcouru par un courant dont l'intensité est légèrement supérieure à celui qui y circulerait dans les conditions normales avec un facteur de puissance de 0,8. On peut réaliser les mêmes conditions en connectant l'alternateur en essai à des bobines de réactance de grande puissance ou à une combinaison de bobines de réactance et de moteurs synchrones. C'est en se basant sur ces considérations que la Compagnie Metropolitan-Vickers a équipé sa plateforme d'essais pour turboalternateurs avec deux bobines de réactance de 20 000 kv-a chacune et un groupe moteur-générateur de 10 000 kv-a.

2. Données sur l'alternateur essayé. — Le turboalternateur dont les essais font l'objet de l'article qui nous occupe a une puissance nominale continue de 35 000 kw et fournit du courant alternatif triphasé à la tension de 6 600 v et à la fréquence de 50 p : s. Les essais ont comporté, outre ceux usuels de mesure des pertes et de relevé des caractéristiques, un essai en charge de 4 heures et demie sous une puissance de 46 000 kv-a à la tension normale, suivi d'un essai de même durée pour une puissance de 51 300 kv-a. Le stator est en tôle d'acier au silicium de haute perméabilité. Chaque couronne est formée de 12 segments dont chacun est percé de 18 trous de ventilation ; en outre, 56 canaux de ventilation radiaux de 9,5 mm d'épaisseur sont distribués le long du stator. Les tôles sont serrées entre des flasques épais en cuivre qui servent en même temps à amortir le champ produit par le flux de fuite des têtes de bobines. Ces flasques sont boulonnés sur la carcasse et aucun boulon ne traverse les tôles. L'enroulement est du type concentrique et chaque encoche renferme seize rubans connectés en parallèle. Ils sont partagés en groupe de quatre et les rubans des deux groupes supérieurs sont tordus dans la partie placée dans la fente tandis que les groupes de rubans sont transposés dans les têtes de bobines afin de réduire les courants de circulation.

L'isolement est réalisé à l'amiante entre les rubans précités ; chaque barre formée de huit de ces rubans est bakélisée puis entourée de mica et passée à nouveau dans une presse chauffée à la vapeur. Les encoches sont du type repercé et précédées d'une encoche servant à la ventilation et à augmenter la réactance de la machine. Le rotor est en acier forgé et les capots qui maintiennent les extrémités de l'enroulement sont en acier non magnétique. Les enroulements placés dans des encoches radiales sont isolés au mica et à l'amiante.

La ventilation de cette machine s'effectue suivant le système radio-axial. L'air froid venant du réfrigérant est refoulé par deux ventilateurs montés chacun aux extrémités du rotor et aidés, s'il y a lieu, par deux ventilateurs extérieurs qui refoulent l'air dans deux compartiments intermédiaires de la carcasse du stator ; ces compartiments servent, par contre, de sortie d'air lorsque ces deux ventilateurs ne sont pas en marche. Normalement, la ventilation s'effectue en circuit fermé et les modifications de la circulation d'air se font au moyen de registres.

3. Préparation des essais. — En vue de ces essais, 33 couples thermoélectriques furent disposés en divers points de l'enroulement du stator, dans les dents et dans le noyau ; en outre, la température de toutes les parties accessibles était mesurée au moyen de thermomètres à mercure ainsi que celle de l'air de refroidissement à son entrée et à sa sortie. Le volume de cet air a été déterminé au moyen d'un anémomètre placé à la sortie dans un ajutage de forme convenable pour que l'écoulement de l'air soit régulier aux points de mesure. Enfin l'élévation de température du rotor a été déduite des mesures de variation de résistance.

Pour ces essais, l'alternateur était entraîné par un moteur à courant continu d'une puissance de 1 200 ch. L'énergie nécessaire était fournie par la sous-station de l'usine sous forme de courant triphasé à la tension de 6 600 v et de 440 v, la fréquence étant de 50 p : s, et de courant continu à 500 v.

Les machines nécessaires aux essais comprenaient deux bobines de réactance de 20 000 kv-a chacune et deux groupes moteur-générateur. L'un était formé d'un alternateur triphasé 6 600 v, 50 p : s d'une puissance de 10 000 kv-a avec un facteur de puissance nul, accouplée directement à deux machines à courant continu à 500 v, de 500 kw chacune et tournant à la vitesse de 1 000 t : m. Le deuxième groupe est analogue à ce premier mais la puissance de la génératrice n'est que de 6 000 kv-a. Mentionnons d'autre part, parmi les appareils de mesure l'emploi de deux oscillographes ayant respectivement 6 et 3 éléments.

4. Exécution des essais. — Suivant l'usage on procèda d'abord à des essais à vide pour la mesure des pertes par frottement et ventilation et au relevé des caractéristiques en circuit ouvert et en court-circuit. Aucun interrupteur n'était branché sur les circuits reliant l'alternateur aux bobines de réactance et au groupe moteur-générateur.

Après démarrage des groupes moteur générateur de 6 000 et 10 000 kw-a, on ferme les circuits d'excitation de ce dernier groupe et de l'alternateur en essais et on fait croître graduellement les courants d'excitation jusqu'à ce qu'ils prennent leur vitesse de régime et que la tension normale soit obtenue. L'excitation de l'alternateur est alors augmentée tandis qu'on réduit celle du groupe moteur-générateur jusqu'à ce que le premier produise la puissance voulue avec un facteur de puissance nul.

Deux essais en charge furent effectués dans ces conditions, l'un avec 46 000 kv-a et l'autre avec 51 3000 kv-a, tous deux d'une durée de 4 heures et demie, la puissance prise par les bobines de réactance étant de 44 300 kv-a dans les deux cas. Pendant l'essai à 46 000 kv-a, le ventilateur extérieur placé du côté de l'excitatrice du turboalternateur était à l'arrêt ; dans ces conditions, le débit d'air de ventilation n'a pu

(1) *Engineering*, 4 juillet 1930, t. CXXX, p. 1-5, 3 000 mots, 15 figures dont 2 hors texte, 3 tableaux.

qu'être estimé à 2 420 m³ : mn. Dans le second essai, au contraire, les deux ventilateurs extérieurs étant en marche et le parcours de l'air étant normal, le débit d'air de ventilation a pu être mesuré et a été trouvé égal à 2 610 m³ : mn, son élévation moyenne de température étant de 22,7°C, ce qui correspond à une perte d'énergie de 1 145 kw. D'autre part, la puissance absorbée par les deux ventilateurs est de 83,5 kw. Les températures relevées à la suite de ces essais soit avec les couples thermo-électriques, soit avec les thermomètres à mercure sont données dans deux tableaux de l'article original. Leur examen montre que dans tous les cas, les élévations de température sont moindres que celles admises par les spécifications britanniques et qu'on peut arrêter un des ventilateurs extérieurs quand la puissance débitée ne dépasse pas 35 000 kw et les deux ventilateurs lorsque l'alternateur est dans les conditions de charge économique soit 28 000 kw environ. Le rendement a été calculé pour ces deux charges et est respectivement de 96,72 pour 100 et 96,5 pour 100.

Enfin, des relevés oscillographiques de la distribution du flux dans l'entrefer à vide et à la tension normale, et avec une charge de 46 kv-a, le facteur de puissance étant nul, montrent qu'il n'y a qu'une très faible distorsion du champ en charge. D'autre part, les oscillogrammes de la tension montrent qu'elle est très près d'être sinusoïdale et rentre, à ce point de vue, dans les limites des spécifications britanniques. — J. S.

Spécification et étude des câbles à haute tension aux Etats-Unis (1).

Dans ce mémoire qui contient une abondante bibliographie, l'auteur signale tout d'abord les dispositifs qu'ont adoptés la Société Pirelli et la General Electric Co à la suite des travaux de l'ingénieur Emanueli sur l'isolation des câbles à très haute tension avec circulation interne d'huile.

L'auteur attire ensuite l'attention sur les câbles en papier imprégné dont l'emploi est généralisé dans les installations américaines; il insiste particulièrement sur l'importance du rôle joué par l'huile et par les autres substances d'imprégnation du papier dans la détermination et la conservation de l'isolement.

Le fait que l'huile possède un coefficient de dilatation très supérieur à celui de l'enveloppe de plomb a pour effet, lors des variations périodiques de température, de donner lieu à des dilatations transversales et longitudinales d'où la formation de cavités dans l'intérieur du câble avec, comme conséquence, la formation d'ionisation locale et de pertes d'énergie, phénomènes compromettant la durée et la résistance du conducteur et contre lesquels l'emploi de l'huile liquide offre une protection efficace; toutefois, avec les câbles dépourvus d'huile, il est encore possible d'obtenir, selon l'auteur, des résultats satisfaisants.

L'auteur expose la méthode suivie dans l'élaboration des spécifications américaines dans le but d'obtenir des câbles qui satisfassent aux principales exigences du service et aux essais prévus.

La section des conducteurs est déterminée uniquement par l'intensité du courant étant donné que l'influence de leur diamètre sur l'importance des sollicitations électriques ne joue pas, en général, un rôle important. La forme en secteur des conducteurs est préférée, aux États-Unis, pour les câbles polyphasés, à la forme cylindrique jusqu'à une tension de 33 000 v en raison du moindre coût de fabrication et aussi pour obtenir un moindre diamètre de canalisation.

La valeur de l'épaisseur de l'isolement est généralement telle que la sollicitation électrostatique est limitée entre les valeurs de 17 000 et 19 000 v : cm. Selon Hoover, cette épaisseur doit déterminer essentiellement la tension disruptive lors d'une application instantanée ou de brève durée, là, où sous l'effet d'une sollicitation prolongée, la résistance est essentiellement subordonnée au gradient maximum du potentiel et ainsi au logarithme du rapport entre le diamètre intérieur de l'enveloppe et le diamètre extérieur du conducteur. Dans les essais de brève durée, on utilise, suivant une loi inversement proportionnelle au temps d'application, une certaine puissance de la valeur de la sollicitation maximum, l'exposant choisi variant entre 5 et 10 pour les câbles en papier imprégné et pouvant, selon Farmer, atteindre 7 pour les câbles triphasés et 6 pour les câbles monophasés. En supposant que le câble résiste pendant 15 minutes à une tension d'essai correspondant à 200 kv : cm, on pourrait, pendant 1 minute et 5 minutes, appliquer les tensions correspondant respectivement à 310 et 248 kv : cm et pour 1, 5, 10 et 100 heures des tensions correspondant à 157, 122, 106, 74 kv : cm.

La résistance d'isolement est mesurée dans le but d'obtenir une garantie dans l'uniformité du diélectrique : le facteur de puissance dans les câbles électriques de bonne qualité à toutes températures de 20, 60 et 100°C ne doit pas excéder 0,75, 0,70 et 0,30.

La perte d'énergie dans les câbles de fabrication ancienne croît avec le temps; à présent on la maintient simplement constante en utilisant un mélange isolant de composition appropriée. La mesure de cette perte est exécutée généralement à deux tensions caractéristiques, à 8 et 40 kv : cm pour laquelle la variation du facteur de puissance ne doit pas excéder un certain pourcentage.

Le pouvoir inducteur spécifique du diélectrique seul varie entre 3, 4 et 3,7 à la température ordinaire.

Les perfectionnements introduits dans la fabrication, en tant qu'elles permettent de réduire les épaisseurs d'isolants, contribuent à accroître la capacité, ce qui, dans l'emploi des hautes tensions, peut présenter des inconvénients : les câbles pour une tension de 132 kv, d'une longueur de l'ordre de 100 miles absorberont un courant de capacité d'une intensité telle qu'il épuisera toutes la puissance de transmission, d'où il résulte que l'emploi de ces câbles devra se limiter à des tronçons d'une longueur plutôt réduite.

L'auteur insiste encore sur les essais à faire subir aux huiles destinées à l'imprégnation afin de s'assurer de leur stabilité; aux inconvénients du plomb contenant diverses impuretés ou de l'antimoine en ce qui concerne leur influence sur les corrosions; aux essais de flexibilité, etc.. Il s'étend à la fin sur l'examen des diverses causes qui peuvent donner lieu à la formation des cavités internes et, entre autres, sur le réchauffage produit lors de l'application de l'enveloppe de plomb, sur les variations de température en cours de fabrication et en cours de pose et enfin sur les variations de température avec la charge. Parmi les moyens préventifs les plus appropriés, l'auteur considère l'adjonction de réservoirs d'huile placés aux boîtes de jonction intermédiaires et aux boîtes d'extrémité.

Au point de vue des essais, l'auteur estime que les épreuves combinées de réchauffement cyclique et de surtension sont de nature à donner les meilleurs résultats. — L. V.

(1) A. del Mar. *L'Elettrotecnica*, 5 avril 1930, t. xvii, p. 229-230, 500 mots. Résumé d'une communication faite à la septième Section du Congrès mondial de l'Ingénieur (Tokio 1929).

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société lyonnaise des Forces motrices du Rhône.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 6 JUIN 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 54 millions de francs et dont le siège est à Lyon, 37, rue de la République, nous extrayons les renseignements qui suivent :

La sécheresse, qui a succédé aux grands froids de février et de mars, s'est maintenue pendant la presque totalité de l'exercice. Aussi la société a-t'elle dû faire très largement appel aux sources extérieures d'énergie, tant pour suppléer à la défaillance de l'usine de Cusset que pour répondre au développement normal de sa clientèle (1).

La Société de la Haute-Isère lui a fourni, au cours de l'année, environ 17 millions de kilowatts-heures de plus que l'an dernier, et son usine thermique a dû produire environ 15 millions de kilowatts-heures de plus, soit près de trois fois ce qui lui avait été demandé en 1928.

Ces conditions onéreuses d'exploitation, intervenant en sus de l'élévation du coût de la vie, ont nécessairement eu pour conséquence l'aggravation du coefficient d'exploitation, comme cela peut-être constaté par l'analyse du compte de profits et pertes.

Il y a deux ans, lors de la modification de ses tarifs, la société n'avait utilisé que pour partie l'amélioration résultant de la nouvelle formule de son cahier des charges. Elle a du, au cours de l'exercice, demander l'homologation de tarifs d'application qui, sans arriver encore au maximum de la formule, lui permettent de compenser une partie des aggravations de ses charges. Ces nouveaux tarifs n'ont été appliqués que pendant les quatre derniers mois de l'exercice.

Des incidents de construction n'ont pas permis d'achever le montage du groupe de 15 000 kw qu'on pensait pouvoir mettre en route au cours de l'hiver. Ce montage s'achève. La chaufferie destinée à son alimentation se poursuit, elle aussi, activement, avec certaines améliorations de détail destinées à mieux assurer les conditions de continuité de sa fourniture. On compte pouvoir utiliser cette nouvelle unité pour les besoins de la fin de l'année.

L'extension continue de la clientèle oblige la société au renforcement constant, soit de ses moyens de production, soit de ses moyens de distribution.

Pour ces derniers, elle a continué à améliorer l'alimentation et l'interconnexion de ses feeders ; ses têtes de feeders sont progressivement transformées pour augmenter leur capacité de transmission, assurer une plus grande sélectivité, réduire l'importance et les conséquences des accidents de canalisations. Le coût de ces travaux qui améliorent le service, mais dont la majeure partie ne produit pas de recettes directes, doit, de toute nécessité, être prélevé sur les résultats de l'année.

Pour l'augmentation de sa production la société a sollicité l'autorisation d'augmenter la puissance de l'usine de Cusset par l'établissement d'un barrage sur le Rhône à l'origine de la prise d'eau. D'autre part, sa filiale, la Société de la Haute-Isère a, de son côté, déposé la demande de concession d'une deuxième chute sur l'Isère, située en amont de la chute de Viclaire, actuellement exploitée. Cette concession qui comporte dès l'origine un bassin de retenue d'une certaine importance, améliorerait considérablement à la fois la puissance disponible et l'utilisation plus profitable de l'énergie produite. Les pourparlers avec les autres sociétés de distribution de la région lyonnaise ont abouti à un accord. La bonne entente dans laquelle se poursuivent les rapports avec la Compagnie du Gaz de Lyon permet d'envisager dans l'avenir une commune participation. La société a cédé à la Compagnie du Gaz de Lyon des quantités importantes de l'énergie de l'usine de Viclaire et, d'autre part, a eu recours quelquefois à cette compagnie pour parer à certains moments d'insuffisance de ses usines. Les mêmes échanges de bons offices ont eu lieu avec la Société générale de Force et Lumière.

Comme on peut le voir par l'analyse du bilan, les immobilisations ont encore augmenté cette année; aussi la société est-elle tenue de renforcer parallèlement le montant de ses amortissements pour assurer progressivement la contrepartie de l'actif périssable.

Une autre précaution jugée nécessaire est de doter les provisions pour entretien et renouvellement d'une somme qui tienne compte des nouveaux prix de remplacement des éléments d'actif sujets à remplacement. Et si on envisage la valeur de remplacement soit des câbles, soit des turbines, chaudières et alternateurs, on est loin d'avoir encore au passif une provision en proportion de cette valeur. C'est donc ce chapitre spécial du bilan que la société a tenu à doter plus largement cette année.

Au cours de l'exercice le nombre des abonnés est passé de 69388 à 72343, celui des kilowatts-heures produits de 145 992 400 à 165 242 600.

Dans le total des kilowatts-heures produits en 1929, l'usine hydraulique intervient pour 79 203 600, la Société de la Haute-Isère pour 62 405 600 et l'usine thermique pour 23 633 400.

Le total porté au tableau ci-dessus ne comprend pas la fourniture faite à la Compagnie du Gaz de Lyon qui s'est élevée à 21 436 307 kw-h, au lieu de 13 934 000 l'an dernier.

Le compte profits et pertes présente les modifications suivantes :

Les frais généraux se montent à 3 540 640,29 fr en augmentation de 321 855,10 fr.

Les frais d'exploitation et entretien subissent une lourde augmentation de 6 053 879,05 fr et s'établissent à 27 millions 581 927,35 fr.

Les impôts et redevances ont passé de 2 820 802,74 fr à 3 381 094,73 fr, en augmentation de 560 291,99 fr.

Aux recettes, les produits de l'exploitation s'élèvent à 54 734 385,55 fr, accusant une augmentation de 7 160 614,75 fr provenant tant du développement des demandes d'énergie que des relèvements de tarifs signalés plus haut.

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 27 juillet 1929, t. XXVI, p. 157.

Les produits divers qui ont bénéficié cette année des premiers dividendes distribués soit par la Société de la Haute-Isère, soit par la Société de Transport d'Energie des Alpes, sont en augmentation de 613 399,39 fr et se montant à 952 048,57 fr.

La balance de ces comptes fait ressortir pour 1929 un bénéfice brut de 18 667 071,65 fr en augmentation de 908 446,05 fr sur le bénéfice brut de l'année dernière.

Sur ce bénéfice brut, il est prélevé, pour être affecté aux comptes ci-après : 1 million de francs aux amortissements sur la concession ; 4 millions de francs aux amortissements sur le domaine privé ; 5 millions de francs à la provision pour renouvellement de matériel et entretien.

Le bénéfice net ressort donc à 8 667 071,65 fr en augmentation de 305 771,24 fr sur celui de l'an dernier.

Du bénéfice net il y a lieu de déduire : la réserve légale de 5 pour 100, 433 353,58 fr ; intérêts à 5 pour 100 du capital aux actions O et P, 2 550 000 fr.

Il reste une somme de 5 683 718,07 fr sur laquelle il est distribué 5 100 000 fr.

Le solde soit, 583 718,07 fr ajouté à l'ancien solde reporté, 687 412,87 fr forme un report à nouveau de 1 271 130,94 fr.

La somme de 5 100 000 fr mise en distribution reçoit les affectations suivantes : aux actions 50 pour 100, 2 550 000 fr ; aux parts 35 pour 100, 1 785 000 fr ; à l'amortissement du capital 5 pour 100, 255 000 fr ; au conseil 10 pour 100 soit 510 000 fr, sur lesquels 100 000 fr forment le maximum attribué au conseil, le surplus, soit 410 000 fr étant porté à un compte de réserve libre à la disposition de l'assemblée.

Les titres reçoivent un dividende brut de : 50 fr pour les actions O ; 12,50 fr pour les actions P ; 297,50 fr pour les parts.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Terrain et canal de dérivation	26 096 066,02
Installations hydroélectriques, réseau de canalisations	38 399 820,84
Terrains transformateurs, colonnes montantes, éclairages d'escaliers, raccordements, usine de secours, forces hydrauliques, réseau de canalisations et divers	33 730 021,80
Compte spécial (article 41 des statuts)	10 259 871,16
Matériel, mobilier et outillage	102 195 »
Magasins, moteurs, compteurs, charbons, etc.	2 101 909,25
Recettes en recouvrement. Abonnés.	10 094 255,75
Avances à l'Enregistrement	789 276,19
Portefeuille	12 310 772,80
Caisse et banquiers	21 756 620,70
Avances sur travaux et fournitures	2 272 280,45
Actionnaires	3 000 000 »
	160 913 089,96

Passif.

	fr
Capital	54 000 000 »
Obligations 4 pour 100	24 999 770 »
Réserve légale	4 671 113,47
Réserve libre	915 000 »
Coupons restant à payer	2 126 703,40
Intérêts courus sur obligations	219 370 »
Créanciers, fournisseurs et divers	9 401 200,98
Amortissements sur compte de premier établissement :	
sur compte spécial	10 259 871,16
sur compte concession	8 000 000 »
sur compte domaine privé	12 500 000 »
Provision pour risques exceptionnels	8 181 087,75
Provision pour renouvellement de matériel et entretien	7 343 610,83
Caisse pour complément de retraite	2 560 377,85
Fonds d'amortissement des actions	1 124 500 »
A reporter...	146 302 605,44
Report...	146 302 605,44
Primes sur émission	5 256 000 »
Profits et pertes :	
Reliquat des exercices antérieurs	687 412,87
Bénéfice net de l'exercice 1929	8 667 071,65
	160 913 089,96

Anciens Etablissements Parvillée frères et Cie.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 31 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 6 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 56, rue des Victoires, nous extrayons les renseignements qui suivent :

L'exercice a été caractérisé par le fait que la situation commerciale s'est maintenue satisfaisante pendant toute sa durée, tout au moins en ce qui concerne la porcelaine électrotechnique.

L'activité dans cette branche a porté spécialement, du fait du développement des grands réseaux d'intercommunication, sur le matériel à haute tension destiné soit aux lignes, soit aux postes et pour la réalisation duquel les usines de la société sont bien outillées, tant comme moyens de fabrication que comme appareils de contrôle et d'essais.

Quant au matériel à basse tension, dont les distributions rurales font une consommation importante, le service commercial a été à même de le fournir soit, comme par le passé, en porcelaine, soit en verre au gré de la clientèle.

Enfin, la branche porcelaine de ménage a poursuivi normalement ses opérations, mais sur un marché alourdi par la concurrence tant française qu'étrangère.

Le compte profits et pertes se solde par 559 459,01 fr, les bénéfices d'exploitation s'étant élevés à 1 656 201,67 fr et les frais généraux à 1 096 742,66 fr.

Le solde créditeur est en augmentation de 164 280,71 fr par rapport à l'exercice précédent.

Il est affecté à l'amortissement du matériel et des immeubles une somme de 169 799,55 fr.

Le bénéfice est donc de 389 659,46 fr qui, après affectation à la réserve légale de 19 659,46 fr, laisse un solde de 370 000 fr qui est réparti comme il suit : premier dividende statutaire de 5,50 pour 100 aux actions, 330 000 fr ; au conseil, 4 000 fr ; aux parts bénéficiaires, 6 000 fr ; aux actions, 30 000 fr.

Cette somme de 30 000 fr représente un dividende complémentaire de 0,50 pour 100 qui porte le dividende total à 6 pour 100.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Fonds de commerce	4 »
Usines : terrains, bâtiments	3 863 653,80
Outillage, matériel	2 452 672,40
Cautionnements	52 147 »
Matières premières et travaux en cours	1 351 241,15
Marchandises en magasins	1 583 397,91
Caisses et banques,	807 981,63
Portefeuille	5 005 »
Débiteurs divers	2 452 974,59
	12 569 077,48

Passif.

	fr
Capital	6 000 000 »
Compte général d'amortissement	3 961 222,28
Réserve statutaire	251 340,54
Réserves diverses	95 000 »
Fournisseurs, créanciers divers	1 702 055,65
Résultats de l'exercice 1929	559 459,01
	12 569 077,48

SECTION DE LÉGISLATION

La révision des baux de force motrice des cours d'eau

La loi du 6 juillet 1925 a permis aux propriétaires de demander une majoration du prix de loyer stipulé dans des baux à long terme. Cette mesure peut-elle être appliquée aux baux de force motrice hydraulique? C'est cette question que l'auteur examine dans l'article qu'on va lire.

I. **Introduction.** — On sait que la loi du 6 juillet 1925 a autorisé les propriétaires qui ont donné à bail leurs immeubles avant le 24 octobre 1919 pour une durée de plus de neuf ans à demander en justice la majoration du prix convenu. Par cette mesure, le législateur, qui déjà était intervenu à maintes reprises dans l'intérêt des locataires, a permis aux propriétaires, qui avaient pu consentir soit avant soit durant la guerre de longs baux à des conditions ne correspondant manifestement plus à l'état économique et à la dévaluation de la monnaie, d'exiger une adaptation du prix aux circonstances nouvelles qu'ils n'avaient évidemment pu prévoir au moment où ils avaient contracté. C'est là une nouvelle et très hardie application législative de la théorie dite de l'imprévision.

II. **Orientation de la jurisprudence en la matière.** — Deux jugements, qui à ma connaissance n'ont pas encore été publiés, ont fait aux baux portant sur la force motrice des cours d'eau non navigables l'application de cette mesure : il s'agit de décisions prises par le Tribunal de Gap, le 2 mars 1927 et le Tribunal civil de Tulle, le 25 mai 1928.

Dans les deux hypothèses, les juges se sont tout d'abord attachés à démontrer que l'on se trouvait effectivement en présence de baux à loyers; non seulement les actes avaient été qualifiés tels par les parties, mais ils présentaient encore les caractères essentiels de ce genre de contrats, que l'article 1709 du Code civil définit ceux par lesquels « l'une des parties s'oblige à faire jouir l'autre d'une chose pendant un certain temps et moyennant un certain prix qu'elle s'oblige à payer ». Tels sont évidemment les conventions, d'usage courant avant la loi du 16 octobre 1919, par lesquelles un riverain de cours d'eau navigable s'engageait à laisser à la disposition d'un industriel, pour une très longue période, la force hydraulique que l'article 644 du Code civil mettait à sa disposition, moyennant une somme annuelle; à cette somme s'ajoutait d'ailleurs fréquemment, en fin de location, la remise au bailleur des travaux et ouvrages établis par le preneur.

Il n'y a aucune raison de ne pas appliquer aux baux à loyer de force motrice les mesures que la loi de 1925 a établies pour tous les locaux d'habitation et les immeubles à usage industriel, commercial et professionnel. L'article premier in fine de la loi disposant qu'elle s'applique « aux concessions accordées par les communes, départements et autres collectivités publiques » qui mettent une portion de leur domaine public ou privé à la disposition d'industriels, on peut en conclure que le mot « locaux » qui figure dans la loi doit être interprété dans un sens extrêmement large ; il peut donc être considéré comme visant les chutes d'eau qui ont fait l'objet d'un bail.

La majoration sera admise aux conditions ordinaires; le bailleur devra donc prouver que le prix porté au contrat se trouve inférieur de plus du quart au prix de « la valeur locative équitable » arbitrée au jour de la demande en justice. Celle-ci sera calculée, conformément aux indications de l'article premier § 5 de la loi, « en tenant compte de tous éléments d'appréciation et de manière que le locataire continue à bénéficier, pour la durée du bail, d'un abattement équivalent à un quart de la différence entre le prix fixé au contrat et la valeur locative équitable ».

Dans les deux espèces que nous avons en vue, le tribunal, considérant qu'il n'était pas en mesure de déterminer immédiatement, par ses propres moyens d'appréciation, « la valeur locative équitable », a commis, à cette fin, des experts en leur enjoignant de « s'inspirer des circonstances de la cause, des événements économiques, de la législation en vigueur et de leurs connaissances personnelles » (jugement de Tulle).

III. **Objections contre l'application de la loi de 1925.** — Deux objections peuvent être dirigées contre l'application de la loi de 1925 aux baux à long terme de force hydraulique : l'une est fondée sur la législation de la houille blanche ; l'autre sur l'existence d'un cahier des charges qui comporte un tarif maximum déterminant d'une façon immuable la situation du preneur qui est le plus souvent en même temps un distributeur d'énergie.

1. Supposons un bail de ce genre conclu avant la promulgation de la loi du 16 octobre 1919 qui a nationalisé l'énergie hydraulique de tout le territoire. Aux

termes d'un grand nombre de ces baux, les ouvrages prévus au contrat et comportant l'aménagement d'une chute, l'installation d'une usine et parfois d'un réseau de distribution, doivent faire retour au bailleur lors de l'expiration du bail. Tout l'équilibre du contrat a été établi en fonction de cette restitution et le prix du bail a été évidemment diminué du fait que le propriétaire de la chute devait, en fin de bail, réaliser gratuitement cette importante acquisition,

Le vote de la loi de 1919 a complètement bouleversé la situation. D'une part, son article 6 dispose qu'à tout moment une concession peut être accordée par l'Etat sur le cours d'eau en question dans des conditions telles que la chute considérée peut être absorbée et par suite supprimée; dans l'état antérieur, les deux parties avaient la certitude que, jusqu'à la fin du contrat, leur situation demeurerait invariable, sauf le cas de mesures de police ou de travaux publics; actuellement, la possibilité pour l'Etat d'accorder des concessions sur tous les cours d'eau constitue une cause permanente d'instabilité pour tous les établissements hydrauliques qui seront seulement indemnisés de ce chef à titre de droits exercés en vertu de l'article 6 de la loi (voir aussi l'article 18 § 7).

Mais la menace la plus grave pour les installations résultant de baux antérieurs à la loi de 1919 résulte de l'ensemble de l'article 18. Sans doute cette disposition s'est efforcée de consacrer autant que possible l'état de choses préexistant en déclarant notamment que « les entreprises autorisées demeurent pendant soixante-quinze ans soumises au régime qui leur était antérieurement applicable ». Mais cette longue perspective qui s'étend jusqu'au 16 octobre 1994 ne doit pas nous cacher la mesure qui, pour être différée jusqu'à cette lointaine époque, n'en porte pas moins une atteinte très grave aux droits des parties.

Il apparaîtra peut-être qu'il est vain de poser des problèmes dont la solution se réfère à des dates aussi lointaines; nous ignorons tout de la technique industrielle qui sera en usage à la fin de notre siècle; des forces nouvelles ou à peine connues seront sans doute utilisées et, d'autre part, les forces actuellement employées feront l'objet de procédés d'utilisation que nous ne pouvons soupçonner aujourd'hui. Peu importe : le législateur a voulu établir dès maintenant des principes dont l'application est à très longue échéance; ces dates lointaines ont été prévues soit par la loi, soit par la libre convention des parties et les problèmes que les tribunaux ont aujourd'hui à résoudre et qui comportent l'application de ces dispositions législatives ou contractuelles en vigueur nous obligent à tenir compte dès maintenant de ces éléments et à appliquer ces dispositions telles qu'elles sont établies aujourd'hui.

L'article 18 § 4 de la loi du 16 octobre 1919 a prévu qu'en 1994, « les terrains et tous immeubles par nature ou par destination constituant l'aménagement de la force hydraulique, y compris les machines hydrauliques et les bâtiments, ou parties de bâtiments suffisantes pour abriter ces machines, deviennent propriété de l'Etat ». Il y a là, au profit de l'Etat, une expropriation formellement prévue et portant sur tous ces ouvrages et terrains qui, jusque-là appartenaient en toute propriété aux particuliers. Cette expropriation aura lieu moyennant une indemnité qui déroge singulièrement au droit commun de la loi de 1841; au lieu d'être « juste », c'est-à-dire équivalente à la valeur des biens acquis, la loi se borne à déclarer « qu'elle ne peut dépasser le quart de la valeur vénale estimée à cette époque des biens revenant à l'Etat ». La loi qui indique le maximum de l'indemnité n'en prévoit d'ailleurs pas le minimum.

Il est évident que le vote d'une telle disposition qui attribue à l'Etat, moyennant une indemnité qui peut être dérisoire, des aménagements qui d'après un grand nombre de contrats devraient faire retour au bailleur, est de nature à bouleverser l'équilibre de la situation qu'ils établissaient et par suite à motiver une demande de résiliation de la part du bailleur. Il est certain en effet que si ce dernier n'avait pu compter sur le retour gratuit des installations, il aurait stipulé un prix de location beaucoup plus élevé (1).

La combinaison des lois de 1925 et 1919 met donc à la disposition du bailleur une double faculté : ou réclamer une augmentation du prix du bail jusqu'à son expiration en vertu de la loi de 1925 ou demander la résiliation du bail en vertu de la loi de 1919.

Ces deux demandes sont évidemment contradictoires, l'une supposant le maintien du bail, l'autre sa résiliation. On ne peut donc les formuler simultanément; mais rien n'empêche évidemment l'intéressé de former l'une à titre principal, l'autre à titre subsidiaire pour le cas où le tribunal ne jugerait pas à propos d'accueillir la première. Cette solution est à fortiori admissible lorsqu'un même tribunal n'est pas compétent pour statuer sur les deux actions : c'est ce qui s'est produit pour l'affaire jugée à Tulle : le tribunal de cette ville était saisi de l'action en révision du prix ; celui de la Seine, de l'action en résiliation. Aussi le Tribunal de Tulle a-t-il pris soin de « donner acte au demandeur de ce qu'il n'agit que sous réserve des effets de l'instance en résiliation de bail introduite par lui devant le Tribunal de la Seine ».

On le voit donc, l'existence d'un droit de résiliation appartenant au bailleur ne fait pas obstacle à l'exercice par ce dernier de l'action en révision du prix du bail : ces deux actions doivent seulement être coordonnées le cas échéant pour ne pas aboutir à des résultats contra-

(1) L'important et célèbre arrêt de la Cour de Chambéry du 2 mai 1923 confirmé par la Cour de Cassation, qui a prononcé la résiliation d'un bail de ce genre en vertu de la loi de 1919 a statué dans une hypothèse toute différente où l'article 18 de la loi n'était pas applicable : il visait en effet le cas où, le bail ayant été consenti, l'autorisation administrative n'était pas encore intervenue et la question qui se posait était celle de savoir si la survenance de la loi nouvelle ne dispensait pas le preneur de l'obligation de la demander. Dans les hypothèses que nous envisageons en ce moment, le preneur a déjà demandé et obtenu l'autorisation au moment où il demande la résiliation, et l'article 18 de la loi s'applique.

dictoires. Il est évident que si la résiliation a été prononcée, la révision du prix d'un bail qui a pris fin se trouve sans objet ; d'autre part, le tribunal qui a statué sur la révision ayant dû tenir compte, dans la détermination de la « juste valeur locative », des perturbations apportées dans l'exécution du contrat par la nouvelle législation et notamment de l'impossibilité d'exécuter les clauses sur le retour gratuit au bailleur, ce dernier qui aura reçu à cet égard satisfaction par la majoration de son loyer ne pourra désormais exercer son droit de résiliation.

2. Le preneur est très fréquemment un distributeur d'énergie électrique qui, ayant établi un réseau en vertu d'une permission de voirie de la loi du 27 février 1925 ou d'une concession de la loi du 15 juin 1906, n'a pas la liberté de son prix de vente. Il est incontestable que, de ce fait, ses bénéfices éventuels ne sont pas extensibles. Ne peut-on pas dire qu'il serait injuste de voir aggravées les charges d'un preneur dont par ailleurs les bénéfices sont limités par les tarifs maxima que comporte soit la permission de voirie, soit le cahier des charges de la concession ?

Evidemment le tribunal, dans la détermination de la valeur locative équitable, doit tenir compte de la nature de la chose louée et par suite des conditions particulières dans lesquelles s'exercent les industries électriques ; mais il ne faut pas perdre de vue que le régime de la loi de 1925 a été avant tout établi dans le juste intérêt des propriétaires.

Des travaux préparatoires de la loi, il résulte que, pour la détermination de la valeur locative, les juges devront faire abstraction de tous éléments empruntés à la situation personnelle des parties, notamment aux aptitudes professionnelles plus ou moins grandes des occupants, à la réussite ou à l'échec des entreprises commerciales ou industrielles gérées par eux (1).

La loi a poursuivi une œuvre de justice en vue d'empêcher la ruine de propriétaires réduits pour de longues périodes à des loyers souvent infimes et ne correspondant plus à la situation économique actuelle ; elle a entendu avant tout tenir compte des éléments objectifs concernant les lieux envisagés ; dans l'espèce de la valeur de la chute louée, au jour de la demande en justice.

Il convient d'ajouter d'ailleurs que des avenants peuvent, d'un commun accord entre l'administration et l'électricien, majorer les tarifs et aussi que, si la majoration de loyer fait apparaître à l'encontre d'un preneur concessionnaire de distribution d'énergie un supplément de charges dans les conditions qui rentrent dans la théorie jurisprudentielle de l'imprévision, cet industriel pourra invoquer la majoration de loyer en vue d'obtenir du concédant une indemnité compensatrice.

En tout cas, il est certain que l'existence d'un tarif maximum limitant les bénéfices du preneur ne saurait faire obstacle au droit du bailleur d'obtenir une équitable majoration.

Achille Mestre,
Professeur à la Faculté de Droit.
Conférencier à l'Ecole supérieure d'Electricité.

(1) En ce sens, Paris, 24 décembre 1926, *Revue des Loyers*, 1927, 166 ; Nancy, 24 juin 1927, *Gazette du Palais*, 1927, 2600.

Législation, jurisprudence, réglementation

Décret portant règlement des installations électriques dans les mines de combustibles

(*Suite et fin*).

Dans un précédent numéro (1) nous avons reproduit la partie de ce décret modifiant la section II du titre I du décret du 13 août 1911 portant règlement général sur l'exploitation des mines de combustibles.

Nous reproduisons ci-dessous les modifications et additions apportées par le nouveau décret aux articles des titres XII et XV du décret de 1911.

Titre XII : Emploi de l'électricité dans les travaux souterrains. — Section I : Dispositions générales. — Art. 195. — § 1er. Les installations électriques souterraines doivent satisfaire aux prescriptions prévues par les articles 24 à 39 pour les installations électriques du jour. Elles sont, en outre, soumises aux dispositions du présent titre.

§ 2. Les installations qui comporteraient une tension de plus de 6 000 v sont subordonnées à une autorisation préalable du service local.

Art. 196. — § 1er. Pour l'exécution des mises à la terre prévues aux articles 26 bis, 27 et 27 bis, une des prises de terre au moins est faite à la surface de la mine ou dans un puisard. On peut utiliser comme conducteur de terre la chemise de plomb ou l'armure métallique des câbles, à condition d'avoir pris les mesures nécessaires pour assurer la continuité et la conservation de la ligne de terre.

Au voisinage des moteurs et appareils d'utilisation de première catégorie comportant un conducteur de terre, les tuyauteries, rails et fils de signaux doivent être reliés à ce conducteur.

§ 2. Indépendamment des prescriptions de l'article 31, paragraphe 3, des portes en fer doivent permettre d'isoler des travaux les appareils à réserve importante d'huile, à moins que ceux-ci ne comportent une enveloppe étanche résistant aux effets d'une explosion intérieure et ne satisfassent aux conditions de l'article 218.

§ 3. Par dérogation à l'article 32, on peut utiliser dans les puits en fonçage des moteurs de deuxième catégorie non établis à demeure lorsque les circonstances l'exigent absolument et en prenant des précautions appropriées.

Art. 197. — La centrale électrique ou la sous-station origine du courant descendant au fond sera mise en communication soit téléphoniquement, soit par tout autre moyen équivalent, avec les recettes des étages où existent des installations électriques.

Section II. — Canalisations. — Art. 198. — L'emploi des

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 4 octobre 1930, t. XXVIII, p. 549.

conducteurs nus n'est autorisé dans les travaux souterrains que dans les cas spécifiés aux articles 205, 206, 209 et 212.

ART. 199. — Sauf pour ce qui concerne le tir des mines, l'emploi des conducteurs isolés sans armure n'est autorisé que pour les distributions de la première catégorie A ou B 1, lorsque les conditions d'emplacement et d'emploi sont telles qu'on n'ait pas à craindre une détérioration de l'isolant ou une rupture intempestive des conducteurs (par suite soit de l'humidité ou des actions chimiques, soit de la poussée des terrains, soit de déraillements ou de chocs de matériel, soit de toute autre cause), ou qu'il ne puisse en résulter ni contact de pièces sous tension pour les personnes, ni incendie du boisage.

Ces dispositions ne sont pas applicables à la très basse tension.

ART. 200. — § 1er. Si les conditions énoncées à l'article précédent ne sont pas remplies, le conducteur doit être protégé contre l'humidité et les actions chimiques soit par un isolant établi pour une tension double de la tension de service et par un tube de fer étanche isolé intérieurement, soit par une gaine de plomb sans soudure; il doit être protégé contre les actions mécaniques ou le danger d'incendie par un tube de fer ou par une armure métallique. Pour les installations de première catégorie B 2 et de deuxième catégorie, et dans les puits et descenderies en fonçage, sauf l'exception indiquée à l'article 209, il ne peut être fait usage que de câbles armés.

§ 2. L'un au moins des recouvrements métalliques des conducteurs doit toujours être mis à la terre dans les conditions prescrites par l'article 196, paragraphe 1er.

§ 3. Les câbles armés, dans les puits et galeries de retour d'air ou humides et dans ceux où ils sont exposés à être touchés par mégarde, doivent être protégés par un revêtement non conducteur qui résiste à l'action de l'humidité.

ART. 201. — Les conducteurs isolés sans armure ni gaine métallique installée à demeure doivent être portés sur des isolateurs et tenus convenablement éloignés des parois et des conducteurs voisins.

Les mesures nécessaires doivent être prises pour que les conducteurs ne risquent pas de créer des contacts dangereux.

ART. 202. —Les câbles armés doivent être placés et fixés de façon à être garantis, autant que possible, contre une rupture accidentelle sous leur propre poids ou sous l'effet d'un mouvement de terrain, et à se trouver à l'abri des chocs de matériel.

Des crochets de suspension ou de guidage sont disposés en nombre suffisant pour éviter tout flottement dangereux.

ART. 203. —Au point de jonction avec le réseau des conducteurs non établis à demeure, il doit être établi une boîte de raccordement avec interrupteur.

Le diamètre des tambours qui servent à l'enroulement des conducteurs doit être suffisant pour que les isolants et l'enveloppe des conducteurs ne soient pas endommagés par la répétition des enroulements et des déroulements.

SECTION III: TABLEAUX DE DISTRIBUTION. — ART. 204. — § 1er. Les tableaux de distribution placés au fond doivent être construits en matériaux incombustibles pouvant résister à l'influence de l'humidité. Ils sont protégés efficacement contre la chute des gouttes d'eau.

§ 2. Pour les distributions de deuxième catégorie et pour les distributions de première catégorie dans les parties très humides, tous les éléments conducteurs doivent être isolés de la paroi du tableau par des isolateurs.

SECTION IV : TRACTION PAR L'ÉLECTRICITÉ. — ART. 205. § 1er. Il est interdit d'employer pour la traction des courants de deuxième catégorie, à moins d'une autorisation spéciale du service local.

§ 2. Les conducteurs nus sont autorisés pour la traction électrique, tant pour la ligne de contact que pour les feeders établis parallèlement à celle-ci, sous réserve que les conditions d'emplacement et d'emploi indiquées à l'article 199 seront satisfaites. Cette autorisation ne s'applique pas aux fils de jonction transversaux.

§ 3. L'écart de tension défini à l'article 26, paragraphe 2, est limité à 8 v.

§ 4. Les tuyauteries, armures de câbles et fils de signalisation qui traversent les voies de traction au-dessus des trolleys doivent être reliés électriquement aux rails au point de croisement.

ART. 206. — § 1er. Le courant doit être coupé pendant la circulation à pied du personnel ; toutefois, cette prescription n'est pas imposée quand les feeders nus et les conducteurs de prise de courant sont placés au moins à 2,20 m au-dessus du rail, ou sont efficacement protégés partout ailleurs qu'aux croisements ou bifurcations spécialement désignés sur place au personnel d'une manière très apparente.

Le courant doit être également coupé pendant les travaux de réparation des galeries.

§ 2. L'interruption du courant n'est pas obligatoire lorsque la circulation à pied a lieu par un passage matériellement séparé des conducteurs nus.

ART. 207. — § 1er. Les locomotives employées pour la traction par trolley doivent être disposées de telle sorte que le machiniste ne soit pas exposé à toucher par inadvertance les conducteurs sous tension.

§ 2. Elles doivent comporter un interrupteur très visible, ne coupant pas la lumière, ou muni d'un dispositif qui en assure le maintien dans la position de coupure.

§ 3. Aucun fusible ou disjoncteur ne doit être intercalé sur les conducteurs de terre.

ART. 208. — § 1er. Sur toute locomotive électrique, les parties sous tension doivent être isolées ou protégées par des couvercles isolants ; toutes dispositions doivent être prises pour que cet isolement ne soit pas détérioré par les trépidations.

§ 2. Il doit y avoir un disjoncteur automatique des moteurs ou un fusible.

SECTION V : TIR ÉLECTRIQUE. — ART. 209. — § 1er. Les courants de deuxième catégorie ne peuvent être utilisés pour le tir des coups de mine.

§ 2. Dans les puits et descenderies en fonçage, dans lesquels il est tiré simultanément plusieurs mines, des précautions particulières doivent êtres prises pour prévenir les ratés. Notamment, les mesures suivantes doivent être observées dans ce cas :

a) Si le courant est emprunté au réseau de distribution, la ligne d'amenée de courant à l'interrupteur doit être parfaitement isolée par rapport à la terre et la vérification de cet isolement être effectuée avant chaque tir, ou bien cette ligne doit être alimentée par un transformateur spécial placé à proximité immédiate de l'interrupteur ;

b) La ligne de tir doit être en câble armé ou en conducteurs isolés posés sur isolateurs jusqu'à proximité du chantier, en conducteurs isolés ou tenus éloignés du sol par des matières mauvaises conductrices pour la partie voisine de l'avancement ;

c) La source du courant doit être en état de débiter un courant dix fois plus intense que celui strictement nécessaire ;

d) Les amorces doivent avoir été vérifiées au préalable.

§ 3. Dans les autres cas, les fils nus ne sont autorisés que pour le tir à très basse tension, et, dans le cas de tir sous tension supérieure, pour les derniers 10 m de ligne. Ils peuvent être supportés par des broches en bois dans les endroits secs, ou par des poulies isolantes.

§ 4. Les conducteurs de tir ne doivent jamais être réunis dans les mêmes tubes ou câbles que les conducteurs destinés à d'autres usages.

ART. 210. — Si le courant nécessaire au tir est emprunté au réseau général, des précautions seront prises pour que les fils d'allumage ne puissent être intempestivement mis en contact avec les canalisations du réseau.

Le circuit d'allumage doit comporter une prise de courant et un interrupteur coupant simultanément tous les fils de dérivation et maintenant automatiquement la coupure, sauf au moment du tir.

La prise de courant et l'interrupteur sont placés dans une boîte dont le boutefeu ou l'ouvrier préposé au tir auront seuls la clef.

Les fils d'allumage ne doivent être reliés à cette boîte qu'au moment du tir et doivent en être détachés aussitôt après.

ART. 211. — S'il est fait usage d'exploseurs portatifs, l'organe de manœuvre doit être à la disposition exclusive du surveillant ou de l'ouvrier préposé au tir qui ne le mettra en place qu'au moment d'allumer les coups.

SECTION VI : SIGNALISATION. — ART. 212. — § 1er. La signalisation ne doit s'effectuer qu'à très basse tension ou sous une tension de première catégorie A ou B1. Dans ce dernier cas, le circuit de signalisation devra être complètement indépendant.

§ 2. Les conducteurs nus ne peuvent être employés que comme conducteurs neutres et à l'exclusion des puits.

§ 3. Les conducteurs doivent être disposés de telle sorte qu'il ne puisse se produire une fermeture accidentelle du circuit.

§ 4. Lorsque la signalisation électrique est employée pour le service de l'extraction, tout défaut de tension doit être rendu visible du machiniste d'extraction ; un même câble ne peut contenir que les fils de signalisation d'une seule machine.

SECTION VII : DISPOSITIONS SPÉCIALES AUX MINES GRISOUTEUSES OU POUSSIÉREUSES. — ART. 213. — § 1er. Dans les mines sujettes à des dégagements instantanés de grisou, l'emploi de l'électricité, sauf pour les lampes électriques individuelles et le tir des mines est interdit.

§ 2. Toutefois, l'ingénieur en chef des mines peut autoriser des installations placées sur le courant d'air frais en des points qui ne risquent pas d'être atteints par un refoulement gazeux et l'emploi de câbles armés dans les voies principales de retour d'air. Il fixe les conditions de l'autorisation, sans préjudice de celles imposées aux autres mines grisouteuses.

ART. 214. — § 1er. Dans les autres mines à grisou, sont autorisés, sauf opposition du service local :

1° Les câbles armés dans les voies du circuit général de l'aérage ;

2° Les conducteurs isolés sous tubes en fer pour les installations d'éclairage des accrochages et travers-bancs principaux lorsque ces conducteurs ne sont pas exposés aux détériorations ;

3° Aux points où le courant d'air est régulier et parfaitement brassé, les appareils et moteurs établis à demeure et les locomotives à accumulateurs, à condition que ces divers appareils soient de sécurité contre le grisou.

ART. 215. — § 1er. Dans les mines à grisou, toutes autres installations électriques à demeure, ainsi que la traction par trolley, sont subordonnées à l'autorisation du sevice local.

§ 2. En tous cas, leur utilisation est subordonnée aux conditions suivantes :

1° Il ne doit exister aucun ouvrage incomplètement remblayé ou imparfaitement tassé et non serré dont l'atmosphère puisse venir en communication avec le circuit d'aérage en amont de l'installation ;

2° L'installation doit être entièrement balayée par un courant d'air régulier et parfaitement brassé ;

3° La teneur en grisou, relevée conformément aux prescriptions de l'article 139, ne doit jamais dépasser 5 millièmes en un point quelconque des voies empruntées par le circuit général d'aérage en amont de l'installation ;

4° Les lampes fixes doivent être placées sous globes étanches. Les autres parties de l'installation électrique et toutes les connexions non établies à demeure doivent être, autant que possible, placées à 50 cm au moins du toit.

§ 3. En outre, l'autorisation du service local ne sera accordée qu'à condition que toutes mesures soient prises pour qu'aucune irruption de grisou à teneur dangereuse ne soit à craindre, compte tenu des particularités de la mine et de la disposition des travaux.

§ 4. Le service local pourra d'ailleurs imposer soit un contrôle de l'état de l'atmosphèse plus fréquent que celui que prescrit l'article 139, soit l'emploi d'appareils ne comportant pas de contacts mobiles non protégés contre le grisou et dont les enroulements présentent des garanties spéciales au point de vue de la solidité, de l'isolement et de l'échauffement.

ART. 216. — Dans les mines à grisou, les moteurs de chantiers et tous les autres moteurs non établis à demeure, ainsi que leur appareillage, doivent être de sécurité contre le grisou.

Leurs conditions d'emploi doivent être approuvées par le service local.

ART. 217. — Dans les mines poussiéreuses de première et deuxième catégorie, les lampes doivent être placées sous globe.

La traction par trolley est subordonnée à l'autorisation du service local ; il en est de même de toute installation non protégée pouvant donner lieu à la production d'un arc électrique.

ART. 218. — § 1er. Le matériel de sécurité contre le grisou doit être conforme aux types agréés par le ministre des Travaux publics.

§ 2. Les types sont soumis à des épreuves dans les conditions arrêtées par la commission permanente de recherches scientifiques sur le grisou et sur les explosifs employés dans les mines.

§ 3. Lorsque les appareils comportent des joints pour le passage des pièces mobiles ou pour limiter la pression intérieure en cas d'explosion d'un mélange grisouteux, les arrêtés d'autorisation des types doivent préciser comment l'exploitant peut reconnaître que ces joints continuent à présenter les conditions requises pour la sécurité.

§ 4. Les couvercles de moteurs, de conducteurs et d'appareillage dont le maintien en place est nécessaire pour assurer la sécurité ne doivent pouvoir être démontés qu'à l'aide d'outils appropriés dont la garde est confiée aux agents qualifiés pour effectuer de telles opérations.

§ 5. Le constructeur certifie sous sa responsabilité que les appareils fournis sont conformes aux types agréés.

§ 6. L'exploitant doit constamment entretenir ce matériel en bon état.

SECTION VIII : MESURES D'EXPLOITATION. — ART. 219. — § 1er. Dans les installations effectuées par application des articles 214, 215 et 216, une lampe de sûreté à flamme doit être confiée à l'agent préposé ; une consigne lui indiquera comment il devra se servir de cette lampe pour surveiller l'atmosphère.

§ 2. Le courant doit être immédiatement coupé si le grisou marque à la lampe, si un dispositif de sécurité contre le grisou est en mauvais état, si l'une des conditions auxquelles est subordonnée l'installation cesse d'être satisfaite, ou en cas d'incident laissant craindre la contamination des locaux par le grisou. Il doit en être référé aussitôt à la surveillance ; mention de ces incidents doit être faite au registre d'avancement.

§ 3. Le courant doit être également coupé si un défaut est constaté soit dans un isolement, soit dans une mise à la terre et en cas d'éboulement susceptible d'intéresser les conditions d'aérage ou de détériorer les conducteurs.

§ 4. Le courant ne peut être rétabli que sur l'ordre du surveillant compétent et après que les réparations ont été effectuées ou que des mesures de protection appropriées aux circonstances ont été prises.

ART. 220. — § 1er. Le matériel de sécurité contre le grisou doit être quotidiennement examiné par le personnel qui en est chargé.

§ 2. Ce matériel doit être visité au moins chaque semaine par un agent spécialisé.

Le compte rendu de ces visites sera consigné sur un registre.

§ 5. Toutes les vérifications et mesures électriques seront faites en prenant toutes précautions utiles contre les risques qui pourraient provenir de la production d'étincelles aux appareils de mesure.

Titre XV. — Le titre XV du décret du 13 août 1911 est complété par un article 231 bis ainsi libellé :

Art. 231 bis. — Les installations visée à la section II du titre I et au titre XII du présent décret, antérieures au 1er juillet 1930, n'auront à être modifiées qu'au fur et à mesure des travaux de renouvellement ou de transformation, à moins que le service local ne fasse opposition à leur maintien.

Loi portant approbation des conventions concernant la propriété industrielle signées à La Haye le 6 novembre 1925.

Voici le texte de cette loi, en date du 1er août 1930 et publiée au « Journal officiel » du 3 août, page 8962.

Article unique. — Le Président de la République est autorisé à ratifier et, s'il y a lieu, à faire exécuter :

I. — Les conventions signées à La Haye, le 6 novembre 1925, en vue de modifier :

1° La Convention d'Union de Paris, du 20 mars 1883, revisée à Bruxelles, le 14 décembre 1900, et à Washington, le 2 juin 1911, relative à la protection internationale de la propriété industrielle ;

2° L'Arrangement de Madrid, du 14 avril 1891, revisé à Bruxelles, le 14 décembre 1900, et à Washington, le 2 juin 1911, concernant la répression des fausses indications de provenance sur les marchandises ;

3° L'Arrangement de Madrid, du 14 avril 1891, revisé à Bruxelles, le 14 décembre 1900, et à Washington, le 2 juin 1911, pour l'enregistrement international des marques de fabrique et de commerce.

II. — L'Arrangement international signé à La Haye, le 6 novembre 1925, concernant le dépôt international des dessins ou modèles industriels.

Une copie authentique des conventions et de l'arrangement du 6 novembre 1925 demeurera annexée à la présente loi (1).

Cette ratification, que les états contractants s'étaient engagés à effectuer au plus tard le 1er mai 1928, était attendue avec impatience par tous les possesseurs de brevets d'invention, marques de fabrique ou de commerce, dessins ou modèles industriels. C'est qu'en effet la convention d'Union signée à Paris le 20 mars 1883, revisée à Bruxelles le 14 décembre 1900, puis à Washington le 2 juin 1911 et enfin à La Haye le 6 novembre 1925 (2), offre aux étrangers, en France, un régime meilleur que celui que les Français peuvent revendiquer en vertu de leur propre loi sur les brevets d'invention du 5 juillet 1844. Déjà, en 1906, pour prévenir l'éventualité d'une telle injustice le Parlement français adopta la loi du 1er juillet 1906 ainsi conçue :

Article unique. — Les Français peuvent revendiquer l'application à leur profit, en France, en Algérie et dans les colonies françaises, des dispositions de la Convention internationale, pour la Protection de la Propriété industrielle, signée à Paris le 20 mars 1883, ainsi que des arrangements, actes additionnels et protocoles de clôture qui ont modifié ladite convention, dans tous les cas où ces dispositions sont plus favorables que la loi française pour protéger les droits dérivant de la propriété industrielle, et notamment en ce qui concerne les délais de propriété et d'exploitation en matière de brevets d'invention.

A la suite de la guerre, lorsque les traités de paix eurent profondément modifié la situation des inventeurs, plusieurs textes de législation interne sont intervenus pour les restituer dans leurs droits.

Pour mettre les Français sur un pied d'égalité avec les étrangers. M. Plaisant, alors député, déposa le 9 décembre 1921 une proposition de loi qui devint la loi du 10 juillet 1922, signalée dans ces colonnes (1) et dont voici le texte :

Article premier. — Les Français peuvent revendiquer l'application à leur profit, en France, en Algérie et dans les colonies françaises, des dispositions relatives à la propriété contenues dans les traités et les arrangements internationaux en vigueur en France, entre le 1er août 1914 et la date de la promulgation de la présente loi, dans tous les cas où ces dispositions sont plus favorables que la loi française pour protéger les droits dérivant de la propriété industrielle, et notamment en ce qui concerne les droits de priorité, de payement des annuités et d'exploitation en matière de brevets d'invention.

Art. 2. — Les droits de propriété industrielle qui, en vertu de l'article précédenl, seront remis en vigueur, auront leur effet sous réserve des droits des tiers.

Mais cette loi limite à la date de sa promulgation l'application des dispositions contenues dans les conventions internationales ; elle ne peut donc s'appliquer aux conventions signées à La Haye le 6 novembre 1925. Aussi, pour éviter que le retard apporté à la ratification des conventions de La Haye ne porte pas préjudice aux inventeurs, industriels et commerçants français et en attendant que soit voté le projet de loi sur la propriété industrielle en discussion depuis 1925 à la Chambre des Députés et au Sénat (2), M. Marcel Plaisant sénateur, avait-il déposé, le 27 février 1930, une proposition de loi dont voici le texte (3).

Article unique. — Les Français peuvent revendiquer l'application à leur profit, en France, en Algérie et dans les colonies françaises, des dispositions de la Convention internationale pour la Protection de la Propriété industrielle, signée à Paris, le 20 mars 1883, ainsi que des arrangements, actes additionnels et protocoles de clôture qui ont modifié ou modifieront ladite convention, ensemble les dispositions relatives à la propriété industrielle contenues dans les autres traités et arrangements internationaux où la France est partie, dans tous les cas où ces dispositions sont plus favorables que la loi française pour protéger les droits dérivant de la propriété industrielle.

(1) Le texte de ces actes paraîtra avec le décret de publication.

(2) Rappelons que les décisions prises à la Conférence de La Haye ont été exposées et commentées dans les articles suivants :

Fernand-Jacq ; Revision des conventions internationales pour la protection de la propriété industrielle. *Revue générale de l'Electricité*, 9 janvier 1926, t. xix, p. 77-79.

Fernand-Jacq ; Le nouveau régime international de la propriété industrielle. *Idem*, 5 février 1927, t. xxi, p. 231-236.

(1) Loi modifiant l'article premier de la loi du 1er juillet 1906 relative à l'application en France des conventions internationales concernant la propriété industrielle. *Revue générale de l'Electricité*, 21 octobre 1922, t. xii, p. 615.

(2) Voir à ce sujet les articles suivants :

Fernand-Jacq ; La réforme de la législation sur les brevets d'invention. *Revue générale de l'Electricité*, 1er octobre 1927, t. xxii, p. 521-528.

Fernand-Jacq ; Le projet de réforme de la législation sur les brevets d'invention après le vote du Sénat. *Idem*, 22 septembre 1928, t. xxiv, p 449-455.

(3) *Journal officiel*, 24 juillet 1930, pages 100 et 101 des « Documents parlementaires. Sénat ».

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 16. — 18 OCTOBRE 1930.

Chronique. — A propos de l'étude du fonctionnement d'une machine asynchrone à cage sur un réseau à charge déséquilibrée, p. 593. — Bibliographie : Physique moderne, par Gaetano CASTELFRANCHI, traduit en français par A. QUEMPER DE LANASCOL, p. 593 ; Elektrische Maschinen (Les machines électriques), par Rudolf RICHTER, p. 594 ; Photocells and their applications (Les cellules photoélectriques et leurs applications), par V.-K. ZWORYKIN et E.-D WILSON, p. 594.

Section scientifique et technique. — Pertes d'énergie, diminution du couple et de la vitesse dans les transmissions par courroies et les paliers à billes, par R. SWYNGEDAUW, p. 595. — Revues, analyses et informations : Recherches sur la diffraction des électrons. Analyse électronique, p. 608 ; Sur l'utilisation à la production de l'énergie de la différence de tension de la vapeur émise à la même température par l'eau douce des fleuves et l'eau salée des mers, p. 609 ; Mesure de l'intensité des champs magnétiques périodiques de haute fréquence, p. 610.

Errata, p. 610.

Section industrielle. — Variation de la résistance des prises de terre traversées en permanence par un courant alternatif, par Georges VIEL, p. 611. — Les chaudières de l'usine génératrice d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité, p. 612. — Revues, analyses et informations : L'hydrogène atomique. Application à la soudure des métaux, p. 620 ; Le fonctionnement des parafoudres à thyrite sous l'effet d'une onde de surtension propagée dans un circuit quelconque, p. 623.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Société des Forces motrices de la Vienne, p. 625.

Section de législation. — Commentaire pratique de la loi du 2 mai 1930 sur la réorganisation de la protection des monuments naturels et des sites, par Paul BOUGAULT, p. 627. — Législation, jurisprudence, réglementation : Sur la situation au point de vue des assurances sociales du personnel des entreprises de distribution d'énergie électrique n'ayant pas établi un statut de leur personnel, p. 631 ; Sur la situation au point de vue des assurances sociales des assurés obligatoires de la loi de 1910 sur les retraites ouvrières, p. 632 ; Sur la non-extension aux artisans des villes des avantages accordés aux artisans ruraux pour l'inscription facultative aux assurances sociales, p. 632 ; Sur le calcul des impôts frappant les sociétés à responsabilité limitée et leurs gérants, p. 632.

A propos de l'étude du fonctionnement d'une machine asynchrone à cage sur un réseau à charge déséquilibrée. — A propos de l'étude de M. J. Froidevaux, publiée sous ce titre dans la « Revue générale de l'Electricité ». du 13 septembre 1930, tome XXVIII, pages 389 à 402, nous recevons de M. V. Genkin la note suivante :

Je crois utile de signaler que cette question se laisse traiter avantageusement par la méthode des coordonnées symétriques, comme j'ai eu l'occasion de le montrer dans mon article « Récepteurs dyssymétriques et procédés d'équilibrage des circuits triphasés à phases inégalement chargées » qui a paru dans la « Revue générale de l'Electricité » du 24 juillet 1926, tome XX, pages 123 à 136.

Cet article contient, d'autre part, une description des dispositifs destinés à renforcer l'effet autorégulateur d'une machine asynchrone par l'adjonction d'une capacité ou d'une machine à collecteur.

Bibliographie : Physique moderne, par Gaetano CASTELFRANCHI, traduit en français par A. QUEMPER DE LANASCOL, lauréat de l'Institut (1). — Sous ce titre l'auteur expose, avec méthode et clarté, l'état actuel de la physique. Partant de la notion des atomes et molécules, il rappelle les principales notions d'optique physique qui permettent des investigations dans le domaine des éléments matériels, et la théorie électromagnétique de la lumière qui s'étend, comme il le montre plus loin, au delà des phénomènes correspondant au spectre lumineux. Le chapitre de la théorie cinétique des gaz constitue une introduction au mouvement brownien dont il est question dans le chapitre suivant.

La mécanique statistique et la relativité précèdent, dans cet exposé, les chapitres traitant de l'électron et des phénomènes par lesquels ils se manifestent. Après avoir précisé l'état de nos connaissances sur les rayons X et γ et sur la radioactivité, l'auteur souligne l'abîme qui sépare les radiations regardées comme d'origine oscillatoire, comprises entre les ondes de la radiotélégraphie et les ondes ultra-subtiles de Millikan (de longueurs d'onde inférieures à celles des rayons γ), et les radiations corpusculaires telles que les rayons cathodiques, les rayons α et β ; « mais, ajoute-t-il, la physique d'aujourd'hui s'essaie précisément à une magnifique synthèse, qui apparaît par-ci par-là, qui se pressent, mais se dérobe encore ».

Les chapitres suivants sont consacrés à l'étude des divers modèles d'atomes proposés, atome de Rutherford, atome de Bohr auquel conduit la théorie des quanta ; l'atome d'hydrogène tel que l'a conçu Sommerfeld fait l'objet d'un

(1) Un volume, format 24,5 cm × 16 cm, de 660 pages, avec 147 figures dans le texte, édité par la librairie A. Blanchard, 3 et 3 bis, place de la Sorbonne, Paris. Prix : broché, 70 fr.

exposé détaillé. A signaler encore un intéressant chapitre sur le magnétisme et les quanta et enfin, le dernier chapitre relatif à la mécanique ondulatoire, à la mécanique quantique et aux nouvelles statistiques.

Cette énumération sommaire des questions traitées dans cet « exposé synthétique et méthodique de la physique d'aujourd'hui et des travaux théoriques et expérimentaux des plus grands physiciens contemporains » ne peut donner qu'une idée imparfaite de l'importance de cet ouvrage, si l'on ne tient compte de ce que chacune de ces questions fait l'objet d'un examen concis, mais précis. L'auteur décrit le phénomène, l'expérience par laquelle il se manifeste et il en expose l'interprétation par laquelle ledit phénomène est rattaché à tel autre groupe de phénomènes ; il insiste aussi tout particulièrement sur les résultats qui entraînent des modifications des lois admises antérieurement et qui introduisent des notions nouvelles. De cet exposé ressort la méthode scientifique consistant à analyser d'abord pour aboutir à une synthèse toujours plus étendue de phénomènes en apparence distincts, mais qui, selon la conviction du physicien et de l'esprit humain en général, doivent avoir même origine.

Cet ouvrage met en évidence l'évolution de la physique et sera consulté avec fruit, non seulement par les initiés désireux d'y trouver un renseignement précis sur telle question, mais encore par tous ceux qui tiennent à se tenir au courant des conceptions modernes de la physique.

Ajoutons que l'enthousiasme, bien légitime d'ailleurs, que manifeste l'auteur en décrivant telle expérience et en en commentant les conclusions donne un certain relief à l'exposé et voile élégamment l'aridité du sujet. — A. C.

Bibliographie : Elektrische Maschinen (Les machines électriques), t. II, par Rudolf Richter, professeur à la Technische Hochschule, à Carlsruhe, directeur de l'Institut électrotechnique (1). — Le tome deuxième de cet ouvrage traite, non point de toutes les machines à courant alternatif et des transformateurs statiques, comme l'auteur l'avait annoncé dans la préface du tome premier, mais uniquement des machines synchrones, y compris les commutatrices; les machines asynchrones et les transformateurs statiques feront l'objet d'un troisième volume.

Faisant largement appel, au cours de son exposé, au calcul par les nombres complexes, M. Richter en donne le principe dans un premier chapitre et en montre quelques applications, notamment à la détermination des lieux des extrémités des vecteurs représentant les grandeurs complexes.

Les phénomènes qui font l'objet de cet ouvrage sont essentiellement les phénomènes électriques et magnétiques ; les considérations d'ordre mécanique qui interviennent dans le calcul des machines, et qui touchent surtout à la résistance des matériaux, sont volontairement laissées de côté. La première partie de cette étude est relative au champ magnétique dans les machines synchrones : la répartition de ce champ dans les machines polyphasées et dans les machines monophasées, l'influence de la réaction d'induit sur cette répartition en tenant compte de la denture, celle de la dispersion du flux, la détermination de la caractéristique à vide, les modifications qu'elle subit dans la marche en charge, sont les principales questions traitées dans cette première partie, l'auteur considérant successivement les machines à inducteur lisse et celles à pôles saillants.

Un chapitre important est consacré au courant de court-circuit.

L'étude des oscillations de la machine synchrone supposée d'abord reliée à un réseau à tension constante, en valeur efficace, et ensuite en parallèle avec d'autres machines synchrones est longuement développée et mérite d'être mentionnée, car il s'agit d'un examen approfondi des différents problèmes que soulève le fonctionnement de plusieurs machines synchrones en parallèle et d'une mise au point des nombreuses études publiées sur cette question, en particulier en langue allemande, à peu près les seules citées dans l'ouvrage.

Cette partie est inspirée, ainsi que l'avoue l'auteur dans la préface de ce volume, des travaux de M. Robert Brüderlink, professeur à la Technische Hochschule à Carlsruhe, qui ont été adaptés à l'ouvrage qui nous occupe.

Les chapitres suivants sont relatifs aux essais des machines synchrones et à leur calcul. Enfin dans la dernière partie sont exposées des considérations sur le fonctionnement, le démarrage et les essais des commutatrices. Toutes ces questions sont beaucoup plus développées que ne peut le laisser supposer cette froide et rapide énumération des principales questions traitées. Dans ces dernières pages, comme d'ailleurs dans tout le cours de l'ouvrage, aux développements d'ordre théorique, s'ajoutent des considérations pratiques ; après avoir mis en équation le problème physique et l'avoir résolu, l'auteur donne des nombres, chaque fois que la chose est possible ; il précise la valeur numérique des coefficients introduits dans les relations envisagées. Les tableaux de nombres qui accompagnent les développements mathématiques assurent la liaison entre la théorie et la technique qui s'impose à tout ouvrage s'adressant, comme celui-ci, à des ingénieurs. — A. C.

Bibliographie : Photocells and their applications (Les cellules photoélectriques et leurs applications), par V.-K. Zworykin et E.-D. Wilson (1). — Cet ouvrage a été élaboré sur la base d'une documentation portant sur les innombrables publications traitant du sujet des cellules photoélectriques. Il donne une vue d'ensemble sur leur origine et leur évolution et sur les conditions de leur emploi et de leur fonctionnement.

Après la description des différents types de cellules, les auteurs examinent les problèmes soulevés par leurs diverses applications. C'est ainsi qu'ils étudient l'utilisation combinée des cellules et des tubes à vide dans le domaine de l'amplification des courants.

Les applications actuelles des cellules photoélectriques constituent la matière de chapitres importants tels que ceux consacrés aux films sonores, à la transmission des images et à la télévision ; le dernier chapitre concerne les conditions que devrait remplir la cellule photoélectrique idéale et l'orientation suivant laquelle les recherches futures devront être poursuivies en vue d'étendre les applications de ces intéressants appareils.

Cet ouvrage semble bien remplir le but que les auteurs se sont proposé du fait que les lecteurs y trouveront non seulement des renseignements généraux sur la photoélectricité, mais encore des notions pratiques indispensables à son utilisation. — R. G.

(1) Un volume, format 23 cm × 16 cm, de 708 pages, avec 519 figures dans le texte, édité par la librairie Julius Springer, 23-24 Linkstrasse, à Berlin, W 9. Prix : relié, 39 marks.

(1) Un volume, format 19,5 cm × 14 cm, de 209 pages, avec 98 figures dans le texte, édité par la librairie Chapman et Hall, 11, Henrietta Street, Covent Garden, à Londres, W. C. 2. Prix : relié, 12,5 shillings.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Pertes d'énergie, diminution du couple et de la vitesse dans les transmissions par courroies et les paliers à billes

L'auteur s'est proposé de déterminer d'une façon précise les pertes d'énergie dans les transmissions par courroies qui se traduisent par une diminution du couple transmis et de la vitesse. La méthode qu'il préconise, et qui est décrite dans cet article, est basée sur l'utilisation d'un groupe de deux machines asynchrones à champ tournant, l'une fonctionnant en moteur, l'autre, en génératrice ; ce groupe présente des avantages sur les dynamos-balances à courant continu ainsi que le montre M. Swyngedauw. Reprenant la théorie des dynamos-freins, il fait ressortir la cause d'erreur appréciable qu'elle comporte dans l'étude du problème envisagé et indique le moyen de la corriger : le glissement est déterminé par une méthode électrique précise et traduit graphiquement en fonction des couples transmis. Des résultats de mesures avec des courroies différentes sont déduites des lois générales susceptibles d'être appliquées aux cas les plus divers de la pratique. La méthode proposée est également appliquée à l'étude de l'influence des roulements à billes ; les résultats obtenus sont comparés à ceux que donne la méthode de ralentissement.

I. **Introduction.** — Les pertes d'énergie dans les courroies ne sont pas dues surtout, comme on se l'imagine parfois, au glissement et à la ventilation, mais elles proviennent en majeure part de la diminution du couple provoquée par l'enroulement sur les poulies. Certaines courroies perdent ainsi jusqu'à 5 pour 100 du couple normal qu'elles peuvent transmettre et il est aisé de voir, comme je le montrerai, que les pertes de couple étant constantes et indépendantes de la charge, il en résulte une perte d'énergie d'autant plus importante que le coefficient d'utilisation des machines est plus petit. Par exemple, si la puissance moyenne des machines d'une usine est la moitié de la puissance normale, les courroies, par le seul fait d'une perte de couple de 5 pour 100 de leur valeur normale, dissipent une puissance égale au dixième de celle qui leur est fournie. Dans certaines usines à vapeur ou commandées par moteur unique, la puissance prise par les courroies tournant à vide atteint parfois jusqu'à 30 pour 100 de la puissance totale en charge.

La considération du rendement des courroies n'est donc pas à dédaigner et doit entrer en compte parallèlement aux autres facteurs pour l'estimation du rendement global de l'usine. Le fait qu'on le négligeait jusqu'ici provient surtout de l'absence de données techniques précises à ce sujet, absence dont la cause principale réside dans la difficulté que présentent ces mesures.

MM. Auclair et Boyer-Guillon ont insisté avec raison sur ce point (1) et ont comblé cette lacune en fournissant de nombreuses données sur des courroies de toute nature ; ils ont opéré avec des dynamos-freins à courant continu ; mais les mesures — comme celles que j'ai faites d'ailleurs moi-même pendant très longtemps par cette même méthode et ces mêmes dispositifs — peuvent être entachées d'erreurs inhérentes aux machines utilisées comme on le verra plus loin.

(1) *Bulletin du Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers*, n° 21, édité par la librairie Béranger, à Paris (1924).

II. **Evaluation des pertes par les dynamos asynchrones-balances.** — Rappelons d'abord que la perte p de puissance dans une transmission par courroie est égale à l'excès de la puissance fournie par la poulie motrice sur la puissance reçue par la poulie réceptrice. Si $2\pi N_1$ et C_1, $2\pi N_2$ et C_2 sont respectivement la vitesse angulaire et le couple sur les deux poulies,

$$p = 2\pi (N_1 C_1 - N_2 C_2).$$

Lorsque les poulies sont sensiblement de même diamètre, on peut mettre la perte p sous la forme

$$\frac{p}{P} = \frac{N_1 - N_2}{N} + \frac{C_1 - C_2}{C},$$

en posant

$$N = \frac{N_1 + N_2}{2}, \quad C = \frac{C_1 + C_2}{2}, \quad P = 2\pi CN.$$

La mesure précise des pertes comprend donc la mesure de

$$\frac{C_1 - C_2}{C} \quad \text{et de} \quad \frac{N_1 - N_2}{N}.$$

La mesure de la perte de couple $C_1 - C_2$ s'est faite jusqu'ici par la dynamo-frein ; or, l'équilibre du stator de cette machine dépend du frottement des balais sur le collecteur et ne peut, à cause de cela, être établi avec une grande précision. L'erreur commise de ce fait sur l'évaluation de ce couple est sans grande importance dans la mesure de la puissance d'un moteur, mais elle en

acquiert au contraire une considérable, si la dynamo sert à la détermination des pertes dans les organes de transmission. Les puissances transmises et reçues sont alors sensiblement égales et les erreurs commises sur chacune d'elles se présentent sous la forme d'une différence de deux puissances, sur chacune desquelles l'erreur commise est du même ordre de grandeur que la perte à mesurer. C'est pour rendre plus précise et plus certaine cette mesure que nous avons substitué aux dynamos à courant continu utilisées jusqu'ici des machines asynchrones-balances (1) dont l'une fonctionne en moteur, l'autre, en génératrice, et dont les rotors sont en cage d'écureuil (fig. 1).

Ces machines n'ont d'autres résistances passives que celles des paliers à billes et la résistance de l'air. Ces conditions permettaient d'espérer l'équilibrage des

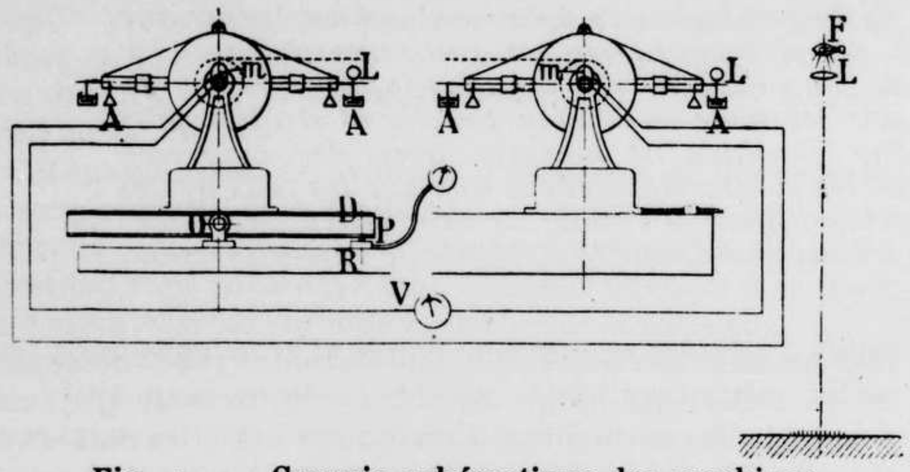


Fig. 1. — Croquis schématique des machines asynchrones-balances.

stators par un couple précis et de déterminer ainsi avec certitude et par quelques mesures la différence des couples du moteur et de la réceptrice. La position d'équilibre du stator est repérée avec précision par un procédé optique; on adapte sur l'un des bras du levier de chaque dynamo une lentille à court foyer L par laquelle on projette sur le mur du laboratoire l'image du filament horizontal F d'une lampe à incandescence à atmosphère gazeuse; on amplifie ainsi 30 à 40 fois le déplacement du levier. Une variation de hauteur de 1 mm de la lentille produit ainsi un déplacement d'environ 4 cm sur le mur.

Quant à la différence du nombre de tours $N_1 - N_2$, on l'obtient avec beaucoup de précision par l'artifice suivant : l'arbre de chacune des machines porte le rotor d'une petite magnéto m des Etablissements Chauvin et Arnoux pour la mesure des vitesses; les deux induits sont couplés directement en série sans l'intermédiaire d'aucune résistance sur le circuit mobile du voltmètre V qui l'accompagne et, conformément à la théorie des couplages des alternateurs, la différence $N_1 - N_2$ du nombre de tours par minute des deux machines est ainsi mesurée par le nombre d'oscillations doubles du voltmètre par minute.

Le stator est muni d'un bobinage à quatre, six et huit pôles, ce qui permet, par un coupleur, de faire tourner les rotors à 1 500, 1 000 et 750 t: mn. Dans chaque expérience, les poulies sont en fonte et ont même diamètre : 10, 20 ou 30 cm ; on peut ainsi changer les conditions de marche dans de larges proportions.

L'une des machines peut se déplacer sur rails, l'autre est montée sur un bâti formé de deux fers en U qui peut basculer autour d'un axe horizontal, l'un des fers en U venant presser sur le piston d'un dynamomètre hydraulique de Richard, ce qui permet de mesurer la traction exercée sur l'axe des machines par la courroie, pression égale à $T + t - 2\frac{mV^2}{R}$, T et t étant les efforts de tension des brins conducteur et conduit, m étant la masse de la courroie par unité de longueur, V, sa vitesse, R, le rayon de la poulie (1).

Pour charger la courroie, il faut que, pour des vitesses sensiblement égales (ne différant que du glissement, si les poulies ont même diamètre), l'une des machines fonctionne en moteur, l'autre, en génératrice asynchrone : on alimente pour cela les stators par les rotors de deux moteurs asynchrones couplés sur le même axe, dont les stators sont alimentés par le réseau et dont les champs tournent en sens inverse; un moteur à courant continu de faible puissance dont on peut faire varier la vitesse par la manœuvre d'un rhéostat d'excitation de la génératrice d'un groupe Ward-Léonard permet de faire tourner les deux moteurs couplés dans un sens ou dans un autre, et d'alimenter ainsi les deux stators du groupe-balance, l'un par un courant de fréquence légèrement inférieure à celle du réseau, l'autre par une fréquence légèrement supérieure; celui-ci fonctionne en moteur, le premier en génératrice asynchrone et la charge de la courroie est d'autant plus grande que la rotation du groupe asynchrone auxiliaire est plus rapide, la vitesse moyenne de la courroie ne changeant que très faiblement avec sa charge.

L'intérêt du groupe asynchrone-balance se révéla aussitôt par un phénomène inattendu : quoique la courroie utilisée fût composée de bandes de cuir soigneusement collées, le passage de certaines de ses jonctions provoquait sur le stator de la machine qui est sous courant des déviations brusques d'amplitude telles que l'image de la lampe repère se déplaçait de plusieurs décimètres, empêchant absolument la détermination de la position d'équilibre. Celle-ci ne peut se faire qu'en munissant les leviers de la balance d'une sorte de dashpot A formé d'un disque en fer de 20 cm de diamètre plongeant dans des vases contenant de l'huile et dont le diamètre intérieur était légèrement supérieur à celui des disques.

Pour éviter le frottement de ces derniers sur les bords de ces vases, les disques sont munis, perpendiculairement à leur surface et au voisinage de leur périphérie, de quatre vis verticales dépassant légèrement le niveau de l'huile, ce qui permet le centrage.

Les vases sont sur des supports en fer qui portent

(1) Ce groupe qui m'a donné toute satisfaction a été construit par la Maison Ernstein, à Roubaix.

(1) Swyngedauw ; Fonctionnement des courroies épaisses. *Mémoires et Compte rendu des Travaux de la Société des Ingénieurs civils de France*, mai-juin 1929, t. LXXXII, (9e série), p. 629-666.

en même temps des leviers coudés soutenant la lampe et dont le déplacement autour d'un axe vertical permet de faire la mise au point de l'image sur le mur de la salle.

Sous l'action de la jonction, le spot ne se déplace plus au maximum que de 4 cm environ de part et d'autre d'une position moyenne qu'on peut ainsi repérer en faisant une erreur inférieure à 5 m-g.

Ce phénomène de brusque déplacement du stator sous l'action de la jonction s'explique par la variation brusque de la vitesse du rotor qui se transmet électromagnétiquement au stator, lorsque celui-ci est connecté au réseau. Ce déplacement peut servir ainsi à l'essai des jonctions qui jouent un si grand rôle dans le glissement et la vie des courroies.

III. **Théorie de la dynamo-frein utilisée pour la mesure des pertes dans les transmissions par courroie.** — 1. Principe de la méthode de mesure. — On fait généralement la théorie de la dynamo-frein en supposant : 1° que le couple des résistances passives, frottement et ventilation, qui s'exerce sur le rotor est égal à celui qui agit sur le stator ; 2° que dans chaque expérience, on ramène ce dernier à sa position d'équilibre sous la seule action de la pesanteur. Ces suppositions et cette pratique sont légitimes et suffisamment exactes lorsqu'il s'agit d'évaluer la puissance d'un moteur : elles ne le sont plus quand il s'agit de déterminer la puissance perdue dans les organes de transmission, laquelle se présente sous forme d'une différence, car les pertes qu'on se propose de mesurer sont alors de l'ordre des erreurs d'expérience.

Si l'on songe que le poids du stator et du rotor des dynamos utilisées est de l'ordre de plusieurs centaines de kilogrammes, que les couples de frottement dans les paliers sont du même ordre de grandeur que les pertes dans certaines courroies (quelques dizaines de mètres-grammes), il paraîtra très difficile de déterminer avec une précision suffisante la position du stator pour laquelle son centre de gravité est rigoureusement sur la verticale de son axe d'oscillation.

Dans nos expériences, nous supposerons donc le centre de gravité légèrement excentré et nous prendrons pour position d'équilibre celle qu'on détermine à l'œil en rendant les bras du levier aussi horizontaux que possible ; nous la repérerons avec beaucoup de précision par le procédé optique décrit précédemment.

Supposons la machine 1 motrice ; elle transmet à la courroie le couple

$$C = C_e - C_{fr}, \qquad (1)$$

C_e étant le couple électromagnétique appliqué au rotor, C_{fr}, le couple des résistances passives de l'ensemble du rotor, arbre et poulie de 1.

Le stator de cette machine est soumis au couple

$$C_s = C_e - C_{fs},$$

C_e étant égal et de sens contraire au couple C_e agissant sur le rotor, C_{fs}, le couple de frottement et de ventilation sur le stator, et qui peut différer en général du couple C_{fr} appliqué au rotor, par l'effet de ventilation et par l'effet de décentrage des billes, signalé et expliqué par M. Hanocq (1). Le couple C_s tend à entraîner le stator en sens inverse du rotor : on le ramène à la position repère en l'équilibrant par le couple M_m qui tend à le faire tourner dans le sens du rotor, et si on désigne par Q le couple créé par la position du centre de gravité du stator en dehors de la verticale de l'axe de rotation, on peut écrire en comptant Q positivement quand il fait tourner le stator dans le sens du rotor

$$C_e - C_{fs} = M_m + Q. \qquad (2)$$

La poulie de la machine 2 réceptrice reçoit de la courroie le couple C' tel que

$$C' = C'_e + C'_{fr}, \qquad (3)$$

C' étant équilibré par le couple résistant électromagnétique C'_e, appliqué au rotor s'opposant à la rotation de celui-ci, et par le couple de frottement et de ventilation C'_{fr} appliqué à l'ensemble rotor, axe et poulie.

Le stator de cette machine est soumis au couple

$$C'_s = C'_e + C'_{fs} + Q' ; \qquad (4)$$

C'_e est égal et de sens contraire à celui appliqué au rotor.

Le couple C'_{fs} des résistances passives diffère de C'_{fr} en général ; C'_e et C'_{fs} tendent à faire tourner le stator dans le même sens que le rotor. Q' désigne le couple exercé sur le stator de 2, quand il est ramené à sa position repère ; nous le supposons positif et agissant dans le même sens que les deux premiers. On équilibre ces trois couples par le couple M'_g qui tend à entraîner le stator en sens inverse du rotor.

Par suite

$$C'_e + C'_{fs} + Q' = M'_g. \qquad (5)$$

Si on enlève la courroie et que l'on fasse marcher chacune des deux machines en moteur à vide sous l'action du seul courant, le couple électromagnétique et le couple de frottement ainsi que le couple d'équilibrage prennent d'autres valeurs C_{e0}, C_{fs0} et M_{e0}, C'_{e0}, C'_{fs0} et M'_{e0} ; et, lorsque le stator est ramené à la même position repère, on peut écrire, pour chaque machine

$$C_{e0} - C_{fs0} = M_{e0} + Q, \quad C'_{e0} - C'_{fs0} = M'_{e0} + Q'. \qquad (6)$$

En remarquant qu'à vide

$$C_{e0} = C_{fr0}, \quad C'_{e0} = C'_{fr0}, \qquad (7)$$

C_{fr0} étant les couples de frottement et de ventilation sur l'ensemble poulie, axe et rotor de chacune des machines 1 et 2, on peut écrire

$$C_{fr0} - C_{fs0} = M_{e0} + Q, \quad C'_{fr0} - C'_{fs0} = M'_{e0} + Q'. \qquad (8)$$

(1) *Revue universelle des Mines*, (Liége), août et septembre 1929, t. II (8e série).

Or, les couples appliqués aux poulies motrice et réceptrice peuvent s'écrire

$$C = C_e - C_{fs} - (C_{fr} - C_{fs}), \quad C' = C'_e + C'_{fs} + (C'_{fr} - C'_{fs}). \quad (9)$$

Si nous admettons : 1° que la différence entre les couples appliqués au stator et au rotor ne dépend que des couples de ventilation; 2° que cette différence est la même, à la même vitesse dans la marche par courroie, ou dans la marche à vide sous l'action du courant, on aura

$$C_{fr} - C_{fs} = M_{e0} + Q, \quad C'_{fr} - C'_{fs} = M'_{e0} + Q'. \quad (10)$$

Par suite (1) et (3) deviennent

$$C = M_m - M_{e0}, \quad C' = M'_g + M'_{e0}; \quad (11)$$

ou en posant

$$\Delta C = C - C',$$

$$\Delta C = C - C' = M_m - M'_g - (M_{e0} + M'_{e0}), \quad (12)$$

et si 2 devient moteur, et 1, réceptrice

$$\Delta C = C'_m - C_g = M'_m - M_g - (M_{e0} + M'_{e0}). \quad (13)$$

La perte de couple dans la courroie est mesurée par la différence des couples d'équilibrage des stators du moteur et de la réceptrice diminuée de la somme des couples d'équilibrage des stators de chacune des machines, quand elles tournent en moteur électrique à vide sans que leurs poulies soient reliées entre elles par la courroie.

Si la poulie réceptrice tourne à vide, on a

$$C - C' = \Delta C = M_{m0} - M'_{g0} - M_{e0} - M'_{e0}. \quad (14)$$

2. Remarques importantes. — 1° Les équations (12), (13), (14), se rapportent à un même sens de rotation et sont indépendantes du couple Q d'excentrage du stator. Elles s'appliquent, bien entendu, à chacun des sens de marche.

2° Les couples ΔC, M_{e0} et M'_{e0} ayant les mêmes valeurs dans les deux équations (12) et (13), on voit que dans deux expériences successives avec rôles des poulies interchangés, on a nécessairement

$$M_{m0} - M'_{g0} = M'_{m0} - M_{g0},$$

ce qui constitue un contrôle de la qualité des expériences.

3° Les couples M_{m0},, M_{e0}, sont positifs s'ils tendent à faire tourner le stator dans le sens du rotor, et M_g est positif s'il tend à faire tourner le stator dans le sens inverse du rotor.

4° En écrivant, comme on le fait habituellement, que la perte de couple dans la courroie est mesurée par la différence des couples d'équilibrage des stators des poulies motrice et réceptrice, on attribue ainsi à la courroie une perte de couple trop élevée de la somme des couples d'équilibrage du stator dans la marche à vide par le courant. Cette erreur n'est pas toujours négligeable ; dans certains cas, elle peut dépasser le tiers de la grandeur à mesurer.

5° Les équations qui expriment les pertes dans les courroies ne sont indépendantes du couple Q d'excentrage du stator que si ce couple garde la même valeur dans les deux expériences où il intervient en sens inverse. Il importe, à cet effet, que la position d'équilibre des stators, repérée optiquement par l'image du filament de la lampe, soit bien invariable, ce qui n'implique aucune variation de hauteur de la lampe ni de la dynamo mobile sur rails (ceux-ci n'étant pas d'une horizontalité rigoureuse); peut-être aussi, étant donné le très grand poids du moteur (plusieurs centaines de kilogrammes) une variation dans l'état du stator peut-elle changer aussi légèrement la valeur du couple Q d'excentrage; mais cette action semble peu importante. Quoi qu'il en soit, à cause du frottement des coussinets, ce couple Q, même après un minutieux réglage, n'est généralement pas négligeable devant le couple à mesurer.

3. Mode opératoire. — Si on se contentait de faire les mesures d'équilibrage pour un seul sens de rotation du rotor et rôles inversés des poulies, la différence des couples d'équilibrage dépendrait du couple Q. En effet, les équations (1) et (3) peuvent s'écrire à l'aide des relations (2) et (5)

$$C = M_m + Q - (C_{fr} - C_{fs}),$$

$$C' = M'_g - Q' + (C'_{fr} - C'_{fs}).$$

Si la machine 1 est motrice, et 2, réceptrice, on a des équations analogues, et en désignant par C_m et C_g, M_m et M_g les couples moyens sur les deux poulies, et les couples moyens d'équilibrage dans les deux cas, il vient

$$\Delta C = C_m - C_g = M_m - M_g + (Q + Q') - (C_{fr} - C_{fs}) - (C'_{fr} - C'_{fs}).$$

Or, $(C_{fr} - C_{fs})$ ne dépend que du rotor, des coussinets, de la ventilation et de la vitesse ; $C_m - C_g$ ne dépend que de la courroie et de sa vitesse. Par suite, $M_m - M_g$ dépend nécessairement des couples de déséquilibrage Q et Q'. Par exemple, pour les expériences auxquelles se rapporte le tableau I, on obtient pour le sens positif, les quatre valeurs suivantes pour $M_m - M_g$: 47, 56, 50, 47 m-g, dont la moyenne est 50,25 m-g, et pour le sens négatif, on obtient quatre valeurs : 165, 164, 164, 167 m-g, dont la moyenne est 165 m-g.

Pour éliminer ces couples de décentrage, deux expériences avec sens inversé de rotation sont donc indispensables; d'où on est conduit au mode opératoire suivant.

Comme les frottements varient avec la température, il est indiqué, afin de laisser aux machines et aux roulements le temps d'atteindre un régime aussi constant que possible, de les faire tourner pendant une

demi-heure ou une heure avant de commencer les mesures. Ce temps écoulé, on fait au moins :

1° Une série de quatre expériences successives, aussi rapprochées que possible l'une de l'autre, deux pour un sens de rotation, avec rôles inversés et charges à peu près égales des poulies, deux pour des sens de rotation inverses du rotor ;

2° Deux expériences de rotation à vide sous l'action du courant dans les deux sens de rotation pour chacune des machines, une avant la pose de la courroie, l'autre après.

Si, pour une position donnée du stator, la position d'équilibre du spot n'a pas changé (il suffit pour cela que la hauteur de la lampe dont il est l'image n'ait pas varié), si, d'autre part, la position d'équilibre du stator se modifie sous la moindre surcharge, on obtient des valeurs très concordantes des pertes de la courroie par application des formules (11) et (12).

4. Application numérique. — A titre d'exemple, nous donnons ci-après le relevé d'une série d'expériences faites en marche à vide sur la courroie de cuir 5 mm × 80 mm posée face chair sur poulies de 30 cm tournant à 1 500 t : mn, l'effort de traction sur les axes étant de 160 kg au repos. Ces expériences sont précédées et suivies de la marche à vide avec courant. Le tableau I donne le mode et le sens de rotation, les couples

Tableau I. — *Résultats d'essais de la courroie cuir 5 mm × 80 mm en marche à vide.*

MODE DE ROTATION	SENS DE ROTATION	M_1	M_2
		m-g	m-g
Avec courant.....	—	— 21	— 56
	+	0	— 29
Par courroie cuir 5 mm × 80 mm sur chair sous tension totale, 160 kg	+	— 46	+ 93
	+	+144	— 89
	+	+150	—100
	+	— 46	+ 93
	—	+ 50	—215
	—	—143	— 21
	—	+ 43	—207
	—	—136	— 21
Avec courant.....	—	— 21	— 50
	+	0	— 25

d'équilibrage M_1 et M_2 des stators 1 et 2 avec le signe + s'il s'agit des couples dans le sens de la rotation positive, le signe — s'il s'agit de ceux dans le sens de la rotation contraire.

Appliquons la formule (14) à la première expérience en rotation positive ; on a

$$M_{m0} = 93 \text{ m-g}, \quad M'_{g0} = 46 \text{ m-g},$$
$$M_{e0} = 0, \qquad M'_{e0} = -25 \text{ m-g},$$

ce qui donne

$$\Delta C = 93 - 46 - 0 + 25 = 72 \text{ m-g}.$$

En faisant le même calcul pour les trois autres expériences en rotation positive, nous obtenons pour ΔC les quatre valeurs suivantes : 72, 80, 72, 75 m-g, dont la moyenne est 75 m-g

Les quatre expériences à rotation négative donnent de même : 94, 93, 93, 86 m-g dont la moyenne est 91,5 m-g.

La perte de couple moyenne pour les deux sens est

$$\frac{75 + 91{,}5}{2} = 83 \text{ m-g}.$$

IV. **Incertitudes provenant de la variation du frottement des roulements à billes.** — La mobilité du stator sous l'action d'une faible charge n'est pas toujours suffisante pour déterminer avec précision la position d'équilibre, surtout dans la marche à vide avec le courant. Le couple des frottements dans les coussinets à billes des machines asynchrones est de l'ordre de 30 m-g et si, grâce aux secousses exercées sur le rotor et le stator par le passage des jonctions sur la poulie, il est possible de déterminer avec assez de précision le moment d'équilibrage en moteur ou en réceptrice, il n'en est pas de même dans la marche à vide avec le courant, sans intermédiaire de courroie. La détermination précise de la position d'équilibre est dans ce cas souvent impossible ; la mobilité est variable avec certaines circonstances mal déterminées. L'expérience suivante le montre : on fait tourner les rotors des deux machines pendant une heure, dans un sens, pendant une autre heure en sens inverse. On rétablit l'équilibre du stator toutes les quinze minutes ; les couples maximum et minimum diffèrent d'environ 20 m-g, alors que tout semble devoir rester constant.

Il ne paraît pas probable que cette variation provienne d'un changement du couple de ventilation ; l'effet constaté est d'ailleurs le même, que le rotor soit muni ou non de sa poulie. Peut-on voir dans ces variations le phénomène signalé et étudié par M. Hanocq d'une différence des couples appliqués au stator et au rotor, qui proviendrait du désaxage des billes ? ou ne serait-ce pas plutôt une conséquence banale de cet effet, que l'équilibre du stator est réalisé pour toute une gamme de positions comprises entre deux limites correspondant au couple de frottement du coussinet ? Quoi qu'il en soit, cette imperfection inhérente même aux constructions les plus parfaites de ces roulements nous a amené à nous contenter en général de mesurer la moyenne des pertes de couples dans les deux sens de rotation.

V. **Mesure de la valeur moyenne de ΔC.** — 1. Premier aspect de la méthode. — Si on désigne par ΔC l'excès du couple moteur moyen sur le couple récepteur moyen, il vient

$$\Delta C = M_m - M'_g - M_{e0} - M'_{e0},$$

M_m et M'_g, M_{e0} et M'_{e0} étant les couples moyens

d'équilibrage dans la marche par courroie en motrice et en réceptrice et dans la marche à vide avec le courant électrique dans les deux sens de rotation considérés.

Comme ces couples moyens, M_{e0} et M'_{e0}, ne dépendent que de la ventilation et que la perte de couple due à celle-ci reste identique à elle-même, nous pouvons l'évaluer une fois pour toutes, malgré la variabilité relative du couple de frottement du coussinet, en prenant la moyenne des valeurs obtenues dans un grand nombre d'expériences faites dans des circonstances très différentes et à des jours différents. Nous avons trouvé ainsi que $M_e = 11$ m-g, lorsque le rotor est muni de poulies de 300 mm de diamètre tournant à 1500 t: mn et 4 m-g pour le rotor muni de poulies de 100 mm tournant à 1500 t:mn. Pour les vitesses de 1000 et 750 t: mn, nous supposons le couple sensiblement proportionnel à la vitesse, de sorte que le couple moyen perdu dans la courroie s'obtient par l'application des formules suivantes

Formules pratiques.

$$\left.\begin{array}{ll} \text{poulies de 300 mm} & \left\{\begin{array}{l} 1\,500 \text{ t:mn, } \Delta C = M_m - M'_g - 22, \text{ en mètres-grammes,} \\ 750 \text{ t:mn, } \Delta C = M_m - M'_g - 10, \text{ en mètres-grammes,} \end{array}\right. \\ \text{poulies de 100 mm} & \left\{\begin{array}{l} 1\,500 \text{ t:mn, } \Delta C = M_m - M'_g - 8, \text{ en mètres-grammes,} \\ 750 \text{ t:mn, } \Delta C = M_m - M'_g - 4, \text{ en mètres-grammes.} \end{array}\right. \end{array}\right\} \quad (14')$$

Appliquons ces formules aux expériences auxquelles se rapporte le tableau I. Le couple moyen de la poulie motrice étant

$$\frac{136+143+207+215+150+144+93+93}{8} = 147{,}5 \text{ m-g,}$$

le couple moyen à la poulie réceptrice étant

$$\frac{100+89+46+46-21-21+43+50}{8} = 41{,}5 \text{ m-g,}$$

la perte de la courroie est

$$147{,}5 - 41{,}5 - 22 = 84 \text{ m-g.}$$

Voici, d'autre part (tableau II), les résultats d'une expérience complète, en charge, faite avec la courroie de cuir de 5 mm × 80 mm avec poulies de 300 mm tournant à 1500 t:mn, l'effort de tension étant de 100 kg, la charge spécifique à vide est de 125 g:mm².

TABLEAU II. — *Résultats des mesures sur courroie cuir 5 mm × 80 mm en charge.*

SENS		C_1	C_2	ΔC	$\frac{\Delta C_0}{C_m}$	$\frac{N_1-N_2}{N} \times 10^3$	$\frac{p}{P}$
+	sur chair	67	3,6	64		0,53	
+		21,5	71,1	50		0,53	
+		2 436	2 380	56	0,020	1,54	0,021
+		4 083	4 040	43	0,012	3,2	0,015
+		7 836	7 780	44	0,006	10	0,016
—		89	28	61		0,5	
—		0	57	57		0,5	
—		21,5	78,5	57		1,09	
+	sur fleur	86	36	50		1,16	
+		2 090	2 020	68	0,026	0,67	0,027
+		3 000	2 921,5	78	0,018	1,47	0,019
+		4 830	4 769,2	60	0,0112	3,42	0,015
+		6 420	6 345	75	0,0094	5,13	0,014
+		7 500	7 421	79	0,0072	6,45	0,013
+		9 000	8 932	68	0,006	0,35	0,014
+		9 800	9 725	75	0,0055	10	0,016
+		10 360			0,0052	11,5	0,017
—		114	21	93		1,08	
—		14,4	71	57		1,14	

Il ressort du tableau II cette constatation importante que la différence des couples transmis par la poulie motrice et reçu par la poulie réceptrice reste sensiblement la même en charge qu'à vide, quelle que soit la charge; les écarts observés sont de l'ordre des erreurs d'expérience.

Il en est de même de tous les genres de courroies. Voici, par exemple, les résultats obtenus avec courroie de caoutchouc la tension totale étant de 100 kg, le diamètre des poulies, de 300 mm et la vitesse, de 750 t:mn :

Couple moteur, en mètres-grammes.....	355	2379	3648	5088	6491	7241	7912	8671
Différence ΔC, en mètres-grammes..	85	89	70	78	71	71	64	71

Dans les deux premières colonnes du tableau II sont consignées les valeurs des couples sur les poulies 1 et 2; dans la troisième, la différence de ces couples; dans la quatrième, le rapport $\frac{\Delta C_0}{C_m}$ de la différence ΔC_0 à vide au couple moteur; dans la cinquième, le glissement apparent $\frac{N_1 - N_2}{N}$ relevé au voltmètre; dans la sixième, le rapport

$$\frac{p}{P} = \frac{\Delta C}{C_0} + \frac{\Delta N}{N}.$$

Le signe + ou — indique le sens de rotation de la machine; il correspond à la direction choisie, comme positive ou négative; les poulies étant très sensiblement de même diamètre, le couple le plus grand est le couple du moteur, le moins élevé est celui de la réceptrice.

Les pertes de couple des courroies sont les mêmes à vide qu'en charge pour une même tension de pose. Cette constatation nous permet d'envisager la méthode sous un autre aspect.

2. Deuxième aspect de la méthode : Mesure de ΔC par différence entre la perte totale de couple dans la transmission et le couple des frottements. — Faisons fonctionner la transmission à vide en excitant seulement l'une des machines, l'autre n'étant pas sous courant : le couple électromagnétique est nul, mais les couples C_{fs} et C_{fr} ont même valeur qu'en charge, puisque la tension de courroie est la même. De plus, lorsque le stator est ramené à sa position repère, Q et Q' ont repris les mêmes valeurs. Ecrivons l'équation d'équilibre dans ce cas et, suivant que la machine 1 ou 2 est réceptrice, on a l'une des deux équations :

$$C_{fs} = M_{g0} - Q, \qquad C'_{fs} = M'_{g0} - Q'. \qquad (15)$$

Si on remplace ces valeurs de C_{fs} et C'_{fs} dans les équations (2) et (5) des machines 1 et 2 en charge, il vient

$$C_e = M_m + M_{g0}, \qquad C'_e = M'_g - M'_{g0}. \qquad (16)$$

La substitution de ces valeurs de C_e et C'_e dans les expressions (1) et (3) des couples transmis à la courroie par la poulie motrice et reçu par la poulie réceptrice, permet d'écrire

$$\Delta C = C - C' = M_m - M'_g + M_{g0} + M'_{g0} - C_{fr} - C'_{fr}, \quad (17)$$

équation qui se simplifie dans la marche à vide et devient

$$\Delta C_0 = C_0 - C'_0 = (M_{m0} + M_{g0}) - C_{fr} - C'_{fr} \quad (18)$$

que nous pouvons écrire

$$M_{m0} + M_{g0} = \Delta C_0 + C_{fr} + C'_{fr}. \qquad (19)$$

Le second membre de (19) est la somme des pertes de couple dans la courroie et des pertes par ventilation et frottement dans les paliers des machines 1 et 2 ; or, ces termes ont pratiquement même valeur à vide qu'en charge ; par suite, la somme des moments d'équilibrage $M_{m0} + M_{g0}$ du stator d'une *même* machine marchant *successivement* en moteur ou en réceptrice dans la marche à vide représente donc pour chaque sens de rotation la perte totale de couple de la transmission.

Remarques. — 1. La formule (19) est applicable à chacune des deux machines, et comme le deuxième membre ne change pas quand on intervertit les rôles des poulies pour le même sens de rotation, la somme des couples d'équilibrage de chaque stator, lorsque son rotor est tour à tour moteur et récepteur, garde la même valeur pour les deux machines, quel que soit le couple d'équilibrage Q du stator. La constatation de cette égalité est un deuxième gage de la qualité des mesures.

Appliquons cette remarque aux huit expériences dont il est rendu compte au tableau I avec la courroie de cuir de 5 mm × 80 mm ; nous trouvons $M_m + M_g =$ 144 + 6 = 192 m-g ou 93 + 89 = 182 m-g ou 150 + 46 = 196 m-g ou 100 + 93 = 193 m-g, dont la moyenne est 181 m-g pour le sens positif, et 50 + 143 = 193 m-g ou 215 − 21 = 194 m-g, ou 136 + 43 = 179 m-g ou 207 − 21 = 186 m-g, dont la moyenne est 188 m-g pour le sens négatif.

Les résultats extrêmes 179 et 196 m-g ne diffèrent entre eux que de 17 m-g et on pourrait faire une constatation analogue sur les résultats des expériences résumés au tableau II. Les écarts de 10 à 20 m-g proviennent partiellement du frottement du coussinet à billes supportant le stator et aussi, comme on le verra, de la variation du frottement dans les coussinets du rotor.

La courroie balata de section de 5 mm × 70 mm = 350 mm², donne, pour un effort de traction de 100 kg sur les axes à 1 500 t : mn et sur poulies de 10 mm de diamètre, les résultats suivants :

Sens de rotation.	M_1	M_2
Positif...	+ 234 m-g	− 18 m-g
	− 39	+ 255
Négatif	− 262	+ 46
	+ 28	− 240

Appliquons les deux critériums de qualité à ces expériences :

$$M'_m - M_g = M_m - M'_g = 234 - 18 = 216$$

ou 255 − 39 = 216 m-g pour le sens de rotation positive;

$$M'_m - M_g = M_m - M'_g = 262 - 46 = 216$$

ou 240 − 28 = 212 m-g pour le sens négatif ;

$$M'_m + M'_g = M_m + M_g = 234 + 39 = 273$$

ou

255 + 18 = 273 m-g pour le sens positif ;

$$M'_m + M'_g = M_m + M_g = 262 + 28 = 290$$

ou

240 + 46 = 286 m-g, soit en moyenne 289.

Ces expériences semblent donc particulièrement bonnes.

2 La mesure de ΔC par la deuxième méthode nécessite, semble-t-il, l'évaluation des couples de pertes C_{fr} et C'_{fr}. On l'évite en remplaçant la courroie essayée par une autre dont on a déterminé les pertes par la première méthode et que l'on tend à la même tension.

Les pertes dans les paliers étant les mêmes, on obtient alors en affectant d'accent les données relatives à la courroie-étalon

$$\Delta C = \Delta C' + (M_m + M_g) - (M'_m + M'_g).$$

La méthode devient particulièrement précise si la courroie type a une perte de couple très faible ; c'est ce

qui se présente pour un fil d'acier qu'on tend de façon à exercer la même traction sur les poulies qu'avec la courroie; on obtient pour $\Delta C'$ environ 5 m-g; $(M'_m + M'_g) = 80$ m-g sur poulies de 100 mm de diamètre tournant à 750 t : mn. La courroie balata expérimentée immédiatement après le fil d'acier donne $M_m + M_g = 281$ m-g dans le sens positif et 288 m-g dans le sens négatif, ce qui donne

$\Delta C = 5 + 281 - 80 = 206$ m-g, dans le sens positif,
$= 5 + 288 - 80 = 213$ m-g, dans le sens négatif,

soit 209,5 m-g en moyenne.

La première méthode donne 206 m-g.

La concordance des résultats est donc très satisfaisante.

VI. Résultats expérimentaux. — Toutes les courroies examinées ont été calculées pour transmettre une puissance de 7 ch à la vitesse de 12 m : s pour des poulies de fonte de 200 mm de diamètre, tournant à environ 1 200 t : mn et distantes d'axe à axe de 3 m.

Le tableau III donne la nature et la section des courroies étudiées; le produit de l'épaisseur en millimètres par la largeur en millimètres ; la tension en kilogrammes par centimètre carré.

TABLEAU III. — *Caractéristiques des courroies essayées.*

NATURE	SECTION	TENSION
	mm²	kg : cm²
1. Soie, 3 mm × 60 mm	180	27
2. Pieuvre, bande de traction cuir de 6 mm × 60 mm.....	360	14
Pieuvre, bande de frottement de 2 × 4 mm × 20 mm	160	
3. Caoutchouc, 6 mm × 55 mm..	330	15
4. Cuir sur champ, deux éléments de section 10 mm × 27 mm.	540	9
5. Cuir sur fleur, 5 mm × 80 mm.	400	12,5
6. Cuir sur chair, 5 mm × 80 mm.	400	12,5
7. Balata, 5 mm × 70 mm.....	350	14,2
8. Cuir double épaisseur, 10 mm × 40 mm.....	400	12,5
9. Courroie Roko (attaches Lagrelle ou attache Clipper), 5,6 mm × 70 mm.....	392	12,8

La vitesse linéaire en mètres par seconde est : pour une vitesse de rotation de 750 t : mn, 1 000 t : mn, 1 500 t : mn et pour poulies de 100 mm, 3,92, 5,25, 7,85 ; pour poulies de 300 mm, 11,75, 15,75, 23,50; pour poulies de 200 mm, 7,85, 10,50, 15,70.

La puissance transmise à 1 500 t : mn sur poulies de 300 mm est de 2,1 ch pour un couple de 1 m-kg ; sur poulies de 100 mm, à 1 500 t : mn, de 0,7 ch pour un couple de 1 m-kg.

Dans le tableau IV sont indiquées pour chacune des courroies du tableau III :

1° La perte de couple ΔC en m-g;

2° Le glissement $\Gamma = \frac{N_1 - N_2}{N}$ exprimé en centièmes pour le couple transmis, indiqué en mètres-kilo grammes ;

3° La perte totale de puissance en centièmes $\Pi = \frac{p}{P}$; le rendement est égal à $1 - \Pi$. Le vide indique que la courroie patine et que le fonctionnement est défectueux.

Ces résultats sont représentés dans les courbes de la figure 2.

Les courroies de dimensions différentes, travaillant sous même tension spécifique avec les mêmes poulies,

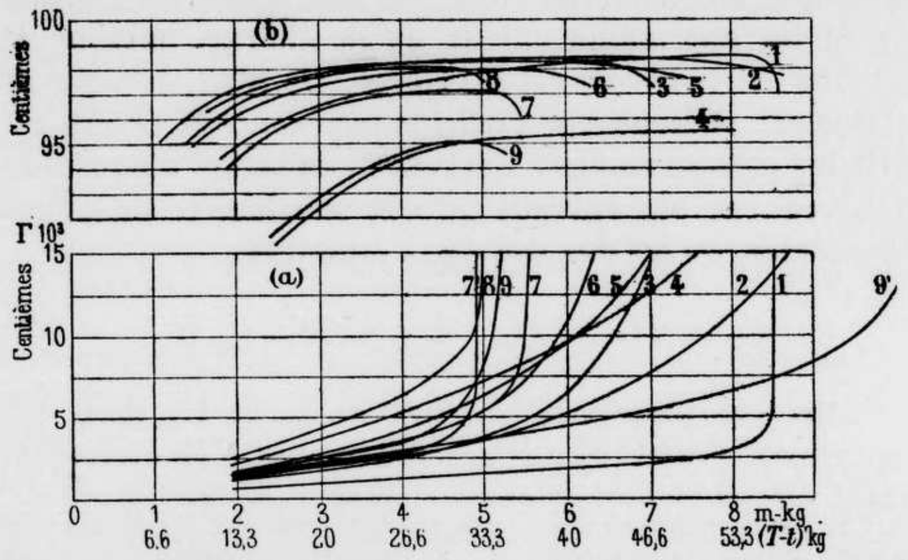


Fig. 2. — Courbes résumant des résultats de mesures et représentant la variation en fonction du couple transmis (a), du glissement Γ; b, du rendement, pour divers types de courroie : 1, soie; 2, pieuvre; 3, caoutchouc; 4, cuir sur champ; 5, cuir sur chair, 5 mm × 80 mm; 6, cuir sur fleur, 5 mm × 80 mm; 7, balata 5 mm × 52 mm; 7′, balata, 5 mm × 70 mm ; 8, cuir sur chair, 10 mm × 40 mm ; 9, Roko, attache Lagrelle; 9′ Roko, attache Clipper.

donnent les mêmes glissements avec les mêmes pertes en centièmes.

Il ressort des tableaux précédents que dans les conditions acceptables de glissement, la perte de puissance dans une courroie provient pour la majeure partie de la perte de couple.

Les lois générales suivantes permettent d'étendre les résultats obtenus dans les conditions expérimentées à d'autres conditions.

CONCLUSION DE CES ESSAIS. — 1° On a déjà vu que la perte de couple dans les courroies est sensiblement la même à vide qu'en charge ;

2° A tension égale et vitesse linéaire égale, la perte de couple dans les courroies croît avec la courbure de la poulie. Pour la courroie de cuir, elle diffère suivant qu'elle est posée sur fleur ou sur chair, comme le montrent les résultats suivants, obtenus avec une courroie de cuir de 5 mm × 80 mm, l'effort de tension de pose étant de 100 kg, avec des poulies de 100 mm, 200 mm, 300 mm ;

Avec des poulies de		100 mm	200 mm	300 mm
Vitesse de 7,85 m : s	sur chair..	77 m-g	48 m-g	
	sur fleur..	52 m-g	48 m-g	
Vitesse de 15,70 m : s	sur fleur..		52 m-g	48 m-g
	sur chair..		69 m-g	52 m-g
Vitesse de 23,60 m : s	sur fleur .			60 m-g
	sur chair..			54 m-g

TABLEAU IV. — *Résultats de mesures avec diverses courroies.*

Poulies de 100 mm; vitesse de 1 500 t:mn; effort de traction sur les axes au repos de 100 kg.

COUPLE TRANSMIS	1 m-kg			2 m-kg		3 m-kg		4 m-kg	
	ΔC	Γ	Π	Γ	Π	Γ	Π	Γ	Π
	m-g	centièmes	centièmes	centièmes	centièmes	centièmes	centièmes	centièmes	centièmes
1. Soie	77	0,1	7	0,2	3,5	0,4	2,7		
2. Pieuvre	116	0,65	12	1,55	9,5				
3. Caoutchouc	66	0,5		1,3	4,5				
4. Cuir sur champ	170	0,85	17						
5. Cuir sur fleur	54	0,4	5,8	1,0	4,5	1,7	4,2		
6. Cuir sur chair	60	0,45	6,5	0,85	4,7	1,8	4,3		
7. Balata	207	0,35	11	1,2	5,5				
8. Cuir épais	85	0,5	9						
9 Roko (attache Lagrelle)	260	0,4	26	0,9	13				

Poulies de 300 mm; vitesse de 1 500 t:mn; effort de traction sur les axes au repos de 100 kg.

COUPLE TRANSMIS	2 m-kg			4 m-kg		6 m-kg		8 m-kg		10 m-kg	
	ΔC	Γ	Π	Γ	Π	Γ	Π	Γ	Π	Γ	Π
	m-g	centièmes	centièmes	centièmes	centièmes	centièmes	centièmes	centièmes	centièmes	centièmes	centièmes
Soie	66	0,07	3,4	0,15	1,8	0,2	1,6	0,26	1,4		
Pieuvre	64	0,12	3,5	0,25	1,9	0,5	1,5	1,2	1,9		
Caoutchouc	64	0,12	3,8	0,25	1,9	0,65	1,6				
Cuir sur champ	160	0,25	11,1	0,5	5,6	1,0	5,7				
Cuir sur fleur	50	0,2	3,1	0,4	1,6	0,95	1,6				
Cuir sur chair	54	0,15	3,2	0,3	1,7	1,1	2,2				
Balata	222	0,15	5,8	0,3	3						
Cuir épais	64	0,35	3,6	0,75	1,9						
Roko, attache Lagrelle	194	0,15	10	0,3	5,5						
Roko, attache Clipper	190	0,15	10	0,3	5	0,44	3,6	0,66	3	1,2	3,2

Ces données ont été relevées avec le concours de M. Andolysek, ingénieur, auquel j'exprime ici toute ma reconnaissance.

3° La perte de couple croît avec la vitesse, comme le montrent les résultats suivants, avec poulies de 300 mm et même effort de tension de pose :

	750 t:mn	1 000 t:mn	1 500 t:mn
Cuir 5 mm × 80 mm sur chair	46 m-g	48 m-g	57 m-g
Cuir 5 mm × 80 mm sur fleur	48 m-g	49 m-g	52 m-g
Roko	152 m-g	160 m-g	200 m-g
Soie	57 m-g		66 m-g
Balata	207 m-g		222 m-g

4° La perte de couple croît avec l'effort de tension de pose : on a en effet avec poulies de 100 mm à la vitesse de 1 500 t : mn :

Pour un effort de traction sur les axes de	50 kg	100 kg	150 kg
Cuir 5 mm × 80 mm	55 m-g	75 m-g	95 m-g
Soie	35 m-g	70 m-g	96 m-g
Caoutchouc		106 m-g	118 m-g

5° La force centrifuge supplémentaire créée par les attaches exerce sur le glissement des courroies un effet important, ainsi que le montrent les essais sur la courroie Roko avec attaches Lagrelle, plus lourdes que les attaches Clipper.

6° L'importance du tableau IV n'échappera pas aux électriciens et aux mécaniciens ; il permet en effet, grâce aux lois formulées, un choix raisonné du genre de courroie à utiliser dans les divers cas pratiques et d'éviter notamment des poulies de trop faible rayon.

Nous ne signalons qu'en passant cette question si importante du glissement et du patinage, qui sera traitée dans deux mémoires spéciaux, l'un présenté au Congrès de Mécanique de Liège de 1930, l'autre qui paraîtra prochainement dans « Mémoires et Compte rendu des Travaux de la Société des Ingénieurs civils de France ».

VII. **Frottements des paliers à billes.** — Pour mesurer le couple de frottement C_{fr} des rotors, faisons tourner le rotor à vide par l'intermédiaire de la courroie ; la poulie est soumise au couple

$$C = C_{fr},$$

C_{fr} étant le même couple de frottement et de ventilation qu'en charge. Pour l'évaluer, écrivons

$$C_{fr} = C_{fs} + C_{fr} - C_{fs}. \qquad (20)$$

Si nous admettons que $C_{fr} - C_{fs}$ est le même dans les deux marches à vide, par courroie ou avec courant, cette différence nous est donnée par l'équation d'équilibre (10) de la marche à vide sous courant; d'autre part, C_{fs} est donné, pour la marche en réceptrice à vide par courroie, par l'équation (5) où $C'_e = 0$.

Des équations (5) et (10) on tire alors

$$C_{fr} = M_{e0} + M_{g0}. \qquad (21)$$

On obtient le couple de frottement du rotor par une relation qui ne dépend que des couples d'équilibrage où ne figure pas le couple Q d'excentrage du centre de gravité du stator.

Exemples. — Appliquons la formule (21) aux expériences relatées plus haut en remarquant que M_{e0} est positif s'il tend à faire tourner le stator dans le sens du rotor, et M_{g0}, positif s'il tend à faire tourner le stator en sens inverse du rotor.

On trouve :

En sens positif : $C_{fr} = 46$ m-g, $C_{fr} = 68$ m-g;

En sens négatif : $C_{fr} = 67$ m-g, $C_{fr} = 37$ m-g.

L'exactitude des résultats que l'on obtient ainsi dépend surtout de la précision avec laquelle on peut déterminer l'équilibre du stator dans la marche à vide par le seul courant : nous avons vu que cette précision n'est pas toujours possible; aussi, nous sommes-nous contentés généralement de déterminer le couple moyen des frottements par la méthode des rotations inverses.

Si, pour un premier sens de rotation de la transmission à vide, on ramène à la position repère le stator de la réceptrice, le couple d'équilibrage satisfait à l'équation

$$C_{fs} + Q = M_{g01}.$$

En inversant le sens de rotation ramenant le stator au repère, le couple de frottement est changé de sens, tandis que le couple Q est resté le même et avec les conventions de signe faites plus haut il faut écrire

$$C_{fs} - Q = M_{g02}.$$

En additionnant membre à membre et en désignant par C_{fs} et M_{g0} la valeur moyenne des couples de frottement et d'équilibrage pour les deux sens de rotation à vide, on a

$$C_{fs} = M_{g0}. \qquad (22)$$

Si on fait tourner le moteur à vide sous l'action du courant, quand le stator est ramené à la position d'équilibre repère, pour un premier sens de rotation, on a, d'après l'équation (10),

$$(C_{fr} - C_{fs})_1 = M_{e1} + Q,$$

et lorsqu'on inverse la rotation, C_{fr} et C_{fs} changent de sens, mais Q ne s'intervertit pas; par suite de notre convention de signes, on doit écrire

$$(C_{fr} - C_{fs})_2 = M_{e2} - Q,$$

et la valeur moyenne de $C_{fr} - C_{fs}$ pour les deux sens de rotation est donc

$$C_{fr} - C_{fs} = \frac{M_{e1} + M_{e2}}{2} = M_e.$$

Le couple moyen de frottement du rotor pour les deux sens de rotation est donné par

$$C_{fr} = M_e + M_{g0}, \qquad C'_{fr} = M'_e + M'_{g0}, \qquad (22')$$

M_e étant la moyenne des couples d'équilibrage du stator pour les deux sens de rotation dans la marche à vide par le seul courant et M_{g0}, la moyenne des couples d'équilibrage pour les deux sens de rotation inverse dans la marche à vide par courroie.

Il semble qu'il serait avantageux d'évaluer une fois pour toutes la somme des couples de frottement, C_{fr} et C'_{fr}, des deux machines; mais ces couples ne sont pas absolument constants. Si le couple $C_{fs} - C_{fr}$ peut être considéré comme pratiquement invariable, il n'en est pas de même du couple C_{fs} de frottement de l'axe du rotor sur les coussinets du stator. Ce frottement dépend de l'effort de tension de la courroie avec laquelle il croît en général de l'ordre du dixième au cinquième de sa valeur. Pour une expérience, on a obtenu 43 m-g à 70 kg et 47 m-g à 150 kg. Dans certains essais, l'augmentation de tension semble plutôt diminuer le couple de frottement. Celui-ci varie d'ailleurs avec la température et d'autres circonstances mal connues.

Peut-être la sphéricité des billes n'étant pas absolument parfaite, un changement d'orientation des billes dans les bagues provoque-t-il une variation de pression et, par suite, de frottement.

Les couples moyens du frottement des coussinets du stator dans les deux sens de rotation dans les expériences auxquelles se rapporte le tableau I s'obtiennent par l'application de la formule (22)

$$\text{Valeur moyenne de } C_{fs} = \frac{46 + 46 + 50 + 43}{4} = 46{,}25 \text{ m-g},$$

$$\text{Valeur moyenne de } C'_{fs} = \frac{89 + 100 - 21 - 21}{4} = 36{,}75 \text{ m-g}.$$

Pour douze expériences diverses, faites pour un effort de tension statique de 100 kg on a trouvé pour C_{fs1} et C_{fs2} les valeurs suivantes exprimées en mètres-grammes :

								Moyenne
C_{fs1}	1 500 t:mn,	25;	28,5;	36;	35;	34;	28,5;	
		31,5;	30;	24;	27,5;	25;	32.	33
	750 t:mn,	10;	75;	18;	21;	12,5;	19;	
		14;	16;	16;	16;	21;	10.	16
C_{fs2}	1 500 t:mn,	36;	32;	32;	42,6;	41;	46;	
		21;	35,5;	32;	50;	41.		39
	750 t:mn,	16;	28;	21;	25;	26;	24;	
		28;	29;	28;	18;	22.		24

Les couples de frottement des rotors, C_{fr1} et C_{fr2}, se

déduisent des résultats précédents, comme il a été dit, et présentent par conséquent les mêmes différences.

Cette variation importante des couples de frottement des coussinets à billes nous incita à comparer les résultats avec ceux que donne la méthode de ralentissement.

VIII. **Mesure du couple de frottement du rotor par la méthode de ralentissement.** — On fait tourner le rotor à 1 500 t : mn ; lorsqu'on ouvre l'interrupteur du stator, le système est abandonné au frottement et au couple de ventilation, et l'énergie cinétique perdue par le rotor est égale au travail des résistances passives. Si on désigne par C le couple moyen exercé par ces résistances quand la vitesse angulaire passe de la valeur ω_1 à ω_2, si Δt est le temps mis par le rotor pour passer de cette vitesse ω_1 à ω_2, on peut écrire

$$I\frac{(\omega_1^2-\omega_2^2)}{2}=C\frac{(\omega_1+\omega_2)}{2}\Delta t,$$

où I est le moment d'inertie du sytème mobile, d'où

$$C=I\frac{(\omega_1-\omega_2)}{\Delta t}. \qquad (23)$$

On fait les expériences de la manière suivante : On note au tachymètre la décroissance de la vitesse du rotor ; on déclenche le chronomètre au moment où l'on ouvre l'interrupteur du stator du moteur asynchrone ; on note le nombre de secondes qui s'écoulent entre l'ouverture de l'interrupteur et les instants où la vitesse atteint 1 400, 1 300, 1 200 t : mn, etc. On trace par points la courbe de ralentissement de la vitesse en portant en abscisses le temps, en secondes, et en ordonnées le nombre de tours par minute. A l'aide de cette courbe, on peut déterminer avec plus de précision le temps Δt correspondant à une baisse de 100 t : mn à partir d'une vitesse donnée. Pour chacune des vitesses relevées, le couple se trouve ainsi déterminé en centimètres-grammes poids par la formule

$$C=\frac{2\pi\times 100}{60\times 981\times 100}\frac{I}{\Delta t}=1{,}067\times 10^{-4}\times\frac{I}{\Delta t}, \qquad (23')$$

I étant donné en grammes-centimètres carrés et Δt, en secondes.

Pour déterminer le moment d'inertie du rotor avec sa poulie par la méthode d'oscillation, on fixe par six vis, sur l'écrou qui bloque la poulie, une barre de forme prismatique rectangulaire pesant 1,330 kg, de longueur $2a = 35$ cm, de largeur $2b = 5$ cm ; l'axe d'oscillation est perpendiculaire à ces deux dimensions et se trouve à 5 cm du bord supérieur. Cette barre porte un axe en fer O′ parallèle à l'axe d'oscillation O pesant 190 g et portant lui-même huit disques cylindriques de rayon égal à 10 cm, pesant ensemble 9 760 g.

Le centre de gravité de cette masse de 9950 g se trouve à 25 cm de l'axe d'oscillation. On fait osciller le système composé du rotor, de la barre et des poids avec une amplitude maximum d'environ 5° et on entretient le mouvement en donnant de temps en temps un coup de barre sur l'axe oscillant au moment où le système passe par sa position d'équilibre. On compte la durée de 100 oscillations à plusieurs reprises et on prend la moyenne.

On calcule la durée d'oscillation du pendule qui serait constitué par la barre et les poids cylindriques par la formule

$$\sqrt{\frac{I'}{\Pi l}},$$

Πl étant le moment, par unité d'arc de déviation, des forces agissant sur le pendule ; I', le moment d'inertie du système, est donné par la formule

$$I'=(M+m)(l^2+\rho^2)+M'(l'^2+\rho'^2),$$

M et m étant les masses du poids cylindrique et de l'axe O′ qui le supporte, l et l', les distances des centres de gravité du poids et de la barre à l'axe d'oscillation ; ρ et ρ', les rayons de giration du poids cylindrique et de la barre par rapport à un axe passant par leur centre de gravité ; et

$$\Pi l=[(M+m)l+M'l']g.$$

Dans nos expériences

$$I'=7{,}06\times 10^6\ \text{g-cm}^2$$

et

$$\Pi l=265\times 10^6\ \text{cm-g},$$

par suite

$$T'=2\pi\sqrt{\frac{7{,}06}{265}}=1{,}02\ \text{s}.$$

Soit T la durée d'oscillation double du système barre, poids, rotor et poulie, on a

$$I=I'\left[\frac{T^2}{T'^2}-1.\right]$$

La durée d'oscillation du système barre, poids, rotor, et poulie est :

Avec poulies de diamètre de 100 mm :

Machine 1 ..... $T = 1{,}437$ s,
Machine 2 ..... $T = 1{,}442$ s.

Avec poulies de diamètre de 300 mm :

Machine 1 ..... $T = 1{,}577$ s,
Machine 2 ..... $T = 1{,}526$ s.

On en déduit :

Pour les poulies de 100 mm :

Machine 1 ..... $I_{100} = 6{,}954\times 10^6$,
Machine 2 ..... $I_{100} = 6{,}976\times 10^6$.

Pour les poulies de 300 mm :

Machine 1 ..... $I_{300} = 9{,}80\times 10^6$,
Machine 2 ..... $I_{300} = 8{,}7\times 10^6$.

Par suite, le couple est donné par les formules définitives suivantes :

Poulies de 100 mm :

$$C = \frac{742}{\Delta t} \text{ pour 1} \quad \text{et} \quad C = \frac{743}{\Delta t} \text{ pour 2.}$$

Poulies de 300 mm :

$$C_1 = \frac{1\,046}{\Delta t} \text{ pour 1} \quad \text{et} \quad C_2 = \frac{927}{\Delta t} \text{ pour 2,}$$

les poulies 1 et 2 ne sont pas identiques.

Nous avons comparé directement la méthode de ralentissement avec la méthode d'équilibrage par rotation inverse. Les rotors portant les poulies de 100 mm tournent à 1 500 t : mn par l'action de la courroie de 5 mm × 80 mm sur chair, tendue à 160 kg. Pour les deux rotations inverses, on trouve en moyenne

$$C_{fs1} = 41{,}5 \text{ m-g}, \quad C_{fr1} = 41{,}5 + 4 = 45{,}5 \text{ m-g},$$
$$C_{fs2} = 48{,}5 \text{ m-g}, \quad C_{fr2} = 48{,}5 + 4 = 52{,}5 \text{ m-g}.$$

Après chacune des expériences de rotation dans un sens déterminé, on a mesuré le temps employé par le moteur pour que sa vitesse baisse de 1 500 à 1 400 t : mn; pour les machines 1 et 2, on a obtenu par la formule

$$C_{fr} = \frac{742}{\Delta t}$$

les valeurs de Δt et C_{fr}, calculées à la règle, qui suivent :

Machines.	1 Δt	2 Δt	1 C_{fr}	2 C_{fr}
Sens de rotation positif.	28 s	19 s	26 m-g	39 m-g
Sens de rotation négatif.	22 s	17 s	33,6 m-g	43,5 m-g

dont les valeurs moyennes sont respectivement : 29,8 s, 41,25 m-g.

Ces valeurs sont comparables à celles trouvées par la méthode d'équilibrage des stators, mais plus faibles en raison de ce que la traction de la courroie sur les axes n'existe plus dans la marche à vide avec le courant. Les expériences de ralentissement répétées plusieurs fois à des jours différents, ont donné les résultats suivants exprimés en grammes-mètres :

Valeur moyenne de C_{fr1}..	33,6	32,55	30,9	31,75	33,5
Id. C_{fr2}..	33,3	46,1	37,15	43,1	32,3

Le couple de frottement des rotors de la machine 2 est, suivant les époques, supérieur ou inférieur à celui de la machine 1. La courbe de ralentissement relevée à quatre mois d'intervalle sur les machines munies des poulies de 300 mm a donné les résultats représentés par les courbes des figures 3 et 4. Les coussinets de la machine 1 ont des frottements sensiblement constants ; ceux de la machine 2 se sont considérablement modifiés.

La variabilité de ces couples se trouve ainsi confirmée par la méthode de ralentissement.

IX. **Détermination des pertes dans la courroie par la méthode de ralentissement**. — La méthode d'équilibrage nécessite un groupe de deux machines asynchrones-balances et un groupe auxiliaire permettant de faire marcher chacune d'elles à volonté en génératrice ou en moteur asynchrone. La méthode de ralentissement permet la mesure des pertes par un moteur asynchrone en court-circuit de puissance quelconque et une poulie, tous deux montés sur paliers à billes. Nous avons fait l'expérience sur les rotors de nos deux machines-balances, munies chacune de leurs poulies, afin de pouvoir comparer les résultats obtenus avec ceux fournis par les méthodes exposées plus haut.

Les poulies des deux rotors étant reliées par la courroie, on détermine le temps nécessaire pour que la vitesse des rotors lancés à 1 500 t : mn passe par 1 400, 1 300, etc., tours par minute.

Soient I_1 et I_2 les moments d'inertie des deux rotors et de leurs poulies, V'', la vitesse linéaire de la courroie, M'', sa masse totale, ω la vitesse angulaire des poulies, R leur rayon ; l'énergie cinétique de la courroie est

$$\frac{M'' V''^2}{2} = \frac{M'' R^2 \omega^2}{2};$$

celle du système formé par le rotor, les poulies, la courroie est donc

$$(I_1 + I_2 + M'' R^2) \frac{\omega^2}{2},$$

et la perte de couple totale dans la courroie, par frottement dans les paliers et par ventilation, est

$$C_t = (I_1 + I_2 + M''R^2) \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{t} = \Delta C_c + C_{fr1} + C_{fr2}. \quad (24)$$

Pour la courroie de 5 mm × 80 mm pesant 2 300 g, sur poulie de 100 mm, on a

$$M''R^2 = 2\,300 \times 5^2 = 0{,}057 \times 10^6 \text{ g-cm}^2.$$

Les rotors ont les moments d'inertie

$$I_1 = 6{,}954 \times 10^6 \text{ g-cm}^2, \quad I_2 = 6{,}976 \times 10^6 \text{ g cm}^2.$$

Par suite

$$I_1 + I_2 + M''R^2 = 13{,}98 \times 10^6 \text{ g-cm}^2.$$

La perte de couple totale de la transmission est d'après (23'),

$$C_t = \frac{1\,492}{\Delta t}.$$

Avec les poulies de 300 mm, on a avec la courroie de 5 mm × 80 mm

$$M''R^2 = 2\,300 \times \frac{30^2}{4} = 0{,}52 \times 10^6 \text{ g-cm}^2,$$

$$I_1 + I_2 + M''R^2 = 19{,}02 \times 10^6 \text{ g-cm}^2.$$

Le couple d'amortissement est

$$C_t = \frac{2\,030}{\Delta t}, \qquad (25)$$

$$\Delta C_c = C_t - C_{fr1} - C_{fr2}. \qquad (26)$$

La perte totale de couple est donnée par (24); C_{fr1} et C_{fr2}, couples de ventilation et de frottement dans les paliers sont déterminés par le ralentissement des machines tournant chacune isolément sans être réunies par la courroie ; ces couples ainsi obtenus sont un peu trop faibles et la perte de couple dans les courroies est obtenue par excès.

La figure 3 donne les courbes de ralentissement : 1 et 2 pour les machines tournant isolément; 3 pour

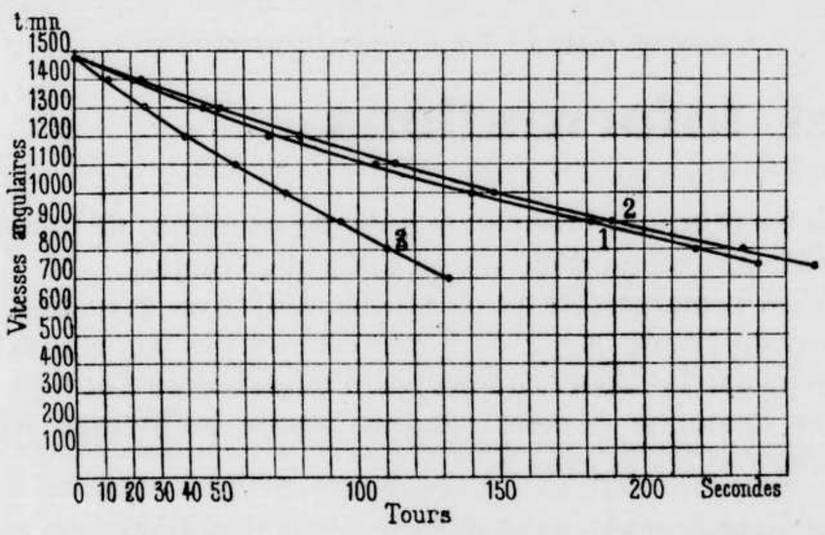


Fig. 3. — Courbes de ralentissement des machines de 1 500 à 700 t : mn avec poulies de 300 mm : 1, machine 1 seule; 2, machine 2 seule; 3, groupe des deux machines reliées par courroie en cuir de 5 mm × 80 mm sur chair, l'effort de tension dynamique étant de 95 kg.

les mêmes machines reliées par courroie cuir de 5 mm × 80 mm = 400 mm².

Si on remplace la courroie par un fil d'acier que l'on tend à la même tension que la courroie, le ralentissement des deux rotors ainsi reliés, l'inertie du fil d'acier étant négligeable, est donné par la relation.

$$C_f = (I_1 + I_2)\,\frac{(\omega_1 - \omega_2)}{\Delta t} = C_{fr1} + C_{fr2} + \Delta C'.$$

Avec les rotors munis de leurs poulies de 300 mm on obtient C_f par la formule

$$C_f = \frac{1\,974}{\Delta t}, \qquad (27)$$

si nous admettons que $\Delta C'$, perte dans le fil d'acier, est de l'ordre de 5 m-g, d'après une détermination directe par la méthode d'équilibrage

$$\Delta C'_c = C_t - C_f + 5. \qquad (28)$$

Les courbes de ralentissement sont représentées sur la figure 4. On en déduit Δt correspondant à la baisse de vitesse de 100 t : mn autour des vitesses de 1 500, 1 000,

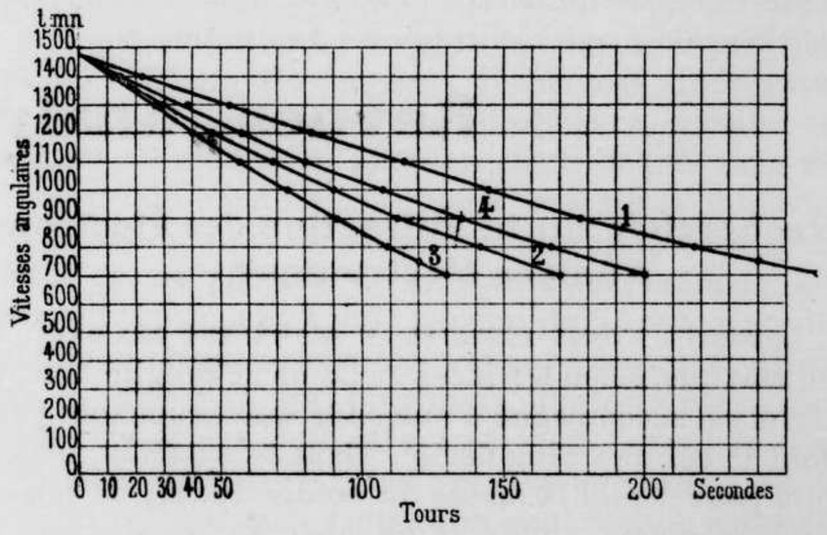


Fig. 4. — Courbes de ralentissement des machines de 1 500 à 700 t : mn, sur poulies de 300 mm : 1, machine 1 seule; 2, machine 2 seule; 3, groupe des deux machines reliées par courroie en cuir de 5 mm × 80 mm sur chair, l'effort de tension statique étant de 100 kg et celui de tension dynamique, de 70 kg: 4. groupe des deux machines reliées par un fil d'acier, l'effort de tension dynamique étant de 70 kg.

750 t : mn et à l'aide de ces données, on détermine les couples d'amortissement C_t de la courroie et du groupe des deux machines C_f du groupe avec le fil d'acier, C_1 et C_2 de chacune des machines 1 et 2, seule. On déduit ΔC_c de la formule (26) et $\Delta C_c'$ de la formule (28).

Toutes ces données figurent au tableau V.

TABLEAU V. — *Résultats obtenus par la méthode du ralentissement et calculés à la règle.*

VITESSE t : mn	Δt en secondes				C en mètres-grammes				ΔC_c	$\Delta C'_c$
	Machine 1	Machine 2	Courroie de cuir	Fil d'acier	Machine 1	Machine 2	Courroie de cuir	Fil d'acier		
1 500	27,50	12,5	12,5	17,5	38,2	74,5	163,5	114	50,3	53,5
1 000	32	18	16	23,5	32,8	51,7	127,5	86,3	43	45,2
750	43	26	20	32	24,2	35,8	101,0	62,4	58	39,6

La mesure directe des pertes à 1 500 t : mn par la méthode d'équilibrage faite avant les expériences de ralentissement avait donné 42 m-g.

Chacun des termes de la différence qui donne les pertes par la méthode de ralentissement ne peut être déterminé avec une approximation inférieure à 5 pour 100, et dans ces conditions, la perte dans la courroie, même avec une détermination plus précise du moment d'inertie ne peut s'évaluer à moins de 10 à 15 pour 100 de sa valeur.

Cette méthode a l'avantage, toutefois, de donner une idée de l'ordre de grandeur des pertes de couple dans les courroies expérimentées.

X. **Conclusion**. — Cette étude complète la théorie des dynamos-freins en vue de la mesure précise des pertes de puissance dans les transmissions; elle montre les résultats de son application à un groupe de machines asynchrones triphasées avec rotor en court-circuit, qui se prête mieux à l'évaluation exacte de ces pertes. Cette méthode a permis :

1° de déterminer les pertes de couple et de vitesse d'un certain nombre de courroies, de natures diverses, parmi les plus utilisées;

2° d'établir les lois de variation de ces pertes, qui permettent d'étendre les données relevées sur les courroies expérimentées à d'autres de même nature, mais avec d'autres dimensions, et travaillant à des tensions spécifiques et sur des poulies différentes;

3° de faire une étude minutieuse des pertes dans les coussinets à billes des machines asynchrones, ce qui a permis de constater l'importance et la variabilité de ces frottements.

R. Swyngedauw,
Professeur à la Faculté des Sciences,
directeur de l'Institut électromécanique
de Lille.

Revues, analyses et informations

Recherches sur la diffraction des électrons. Analyse électronique (1).

1. Longueur d'onde associée au mouvement des particules. — On sait que, selon les idées de Louis de Broglie, tout point matériel est accompagné d'une onde qui occupe tout l'espace et dont il est une singularité. Dans le système propre du mobile pour lequel la masse du mobile est m_0, la phase est partout la même ; mais si on observe un système pour lequel la particule possède une vitesse v et une masse m, les ondes ne semblent plus en phase. Il suffit d'effectuer une transformation de Lorentz pour s'apercevoir qu'il y a une vitesse de propagation de la phase égale à $\frac{c^2}{v}$ alors que la vitesse de propagation de l'amplitude est v, vitesse du mobile. On démontre de plus que la fréquence ν de l'onde associée subit la même transformation que la masse

$$\nu = \frac{\nu_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \qquad (1)$$

et cette relation permet d'établir que la vitesse v est égale à la vitesse de groupe de l'onde, suivant laquelle se déplace l'énergie. La longueur d'onde correspondant à cette fréquence ν sera

$$\lambda = \frac{\text{vitesse de phase}}{\nu} = \frac{c^2}{v\nu}, \qquad (2)$$

et, en écrivant que l'énergie totale du point matériel dans le système d'observation mc^2 est égale à l'énergie de l'onde dans ce même système, c'est-à-dire $h\nu$, on a

$$h\nu = mc^2. \qquad (3)$$

Des équations (2) et (3) on tire

$$\lambda = \frac{h}{mv},$$

et en désignant par p la quantité de mouvement du point matériel ou de son onde associée,

$$p = \frac{h}{\lambda}.$$

Cette relation, immédiate pour un quantum de lumière de vitesse c, s'étend donc à une onde quelconque.

Il est remarquable qu'on puisse mettre en évidence l'existence de l'onde associée à un corpuscule en mouvement, prévue par la théorie au moyen d'expériences d'optique physique analogue à celle connue depuis longtemps pour la lumière et les rayons X.

2. Expériences antérieures. — C'est à Davisson et Germer que revient le mérite d'avoir mis en évidence pour la première fois l'onde associée à un électron, au moyen d'électrons lents dont la vitesse ne dépassait pas celle que produit une différence de potentiel de 500 v. L'auteur donne un bref aperçu de ces expériences qui permettent de mesurer l'indice du cristal pour les électrons, et de celles de Kikuchi sur le mica et de G.-P. Thompson et Rupp, qui peuvent mettre un indice en évidence.

3. Expériences de l'auteur. — L'appareil utilisé par l'auteur se compose d'une cathode incandescente placée devant un canal aménagé dans l'anode, dans un vide aussi poussé que possible. Le canal débouche dans une chambre cylindrique en métal, au bout de laquelle se trouve la plaque ou un écran. La tension excitatrice allant de 6 000 à 18 000 v est fournie par un redresseur alimenté par le réseau de distribution ou par une commutatrice fonctionnant sur une batterie d'accumulateurs quand il s'agit d'expériences de précision.

La cathode la plus généralement employée est un filament de tungstène pur, en forme de V. La formation du spot est gênée par l'action des ions positifs qui bombardent le filament et détruisent l'émission du tungstène aux points utiles (disparition du spot) ou par celle des poussières isolantes qui se trouvent ou se déposent sur les diaphragmes (dispersion du spot). Les plaques photographiques donnent lieu à des phénomènes spéciaux, dans lesquels la trace du spot est environnée de houppes ; celles-ci sont attribuées par l'auteur à une charge de la plaque, accompagnée de solarisation :

1° L'auteur a étudié les phénomènes de diffraction présentés par des poudres cristallines déposées en couche très mince sur des fils ou des diaphragmes métalliques en forme de fente. Les fibres isolantes donnent lieu à des phénomènes parasites dus à leur charge.

Les résultats de la diffraction des électrons accélérés par des tensions comprises entre 7 000 et 17 000 v pour des

(1) Ponte. *Annales de Physique*, avril 1930, t. xiii (10e série), p. 395-452, 20 000 mots, 16 figures, 2 planches.

poudres d'oxyde de magnésium, d'oxyde de cadmium et d'oxyde de zinc permettent la vérification de la loi de L. de Broglie à 1 pour 100 près; les arêtes *a* des mailles ont été trouvées égales aux valeurs suivantes :

pour MgO cubique $a = 4,19$ angströms ;

CdO cubique $a = 5,68$ id

Les particularités d'intensité de réflexion sont les mêmes pour les électrons et pour les rayons X.

2° L'oxyde de zinc permet des expériences plus précises lorsqu'il est sous la forme de couches granulaires ou « tissus » obtenus par combustion du zinc. Ces tissus utilisés avec une grande dispersion ont permis de vérifier la loi de L. de Broglie avec une exactitude de 3 pour 1 000. Le réseau déterminé ainsi est

ZnO (hexagonal) $a = 3,22$ angströms,

$c = 5,175$ id

4. L'ANALYSE ÉLECTRONIQUE. — Les résultats qui précèdent établissent que :

1° Les électrons sont capables de donner des phénomènes de diffraction avec des poudres cristallines et, par conséquent, avec des structures atomiques.

2° Ces phénomènes sont régis par la loi de L. de Broglie et la loi de Bragg.

L'auteur a utilisé ces résultats pour instituer une nouvelle méthode d'analyse des structures notamment des structures superficielles sur lesquelles les physiciens ne connaissent encore que bien peu de choses. Il propose pour cette méthode le nom d'analyse électronique.

Les avantages de l'analyse électronique pour l'étude des structures sont les suivants :

1° Dépense d'énergie extrêmement faible. Les photographies d'analyse des oxydes, vers 15 000 v, ont duré une heure environ, avec une dépense de 15 à 25 w dans le tube. Pour obtenir une bonne photographie de poudres en une heure avec un tube à rayons X, il eût fallu prendre un tube à anticathode de molybdène à faisceau filtré, ce qui aurait exigé une puissance d'environ 1 kw.

2° Il suffit d'une quantité infime de matière pour qu'on en puisse étudier la structure. Dans les expériences sur les tissus d'oxyde de zinc, la quantité de matière utile était au maximum d'un millième de millimètre cube.

3° L'ensemble des anneaux qui caractérisent la structure tient sur une plaque de petites dimensions, sans aucun brouillage dû à des longueurs d'onde voisines.

4° La longueur d'onde peut être choisie à volonté, ce qui permet un grand nombre d'expériences de vérification.

L'auteur a donné quelques exemples d'application de sa méthode à l'analyse de feuilles d'or très minces, à l'étude d'une oxydation superficielle (laiton) et à celle d'un noir de fumée. Les électrons préconisés par l'auteur pour cette étude sont des électrons correspondant à une tension de 12 000 à 20 000 v.

5. CONCLUSION. — « Nous avons évité à dessein, écrit l'auteur, toute considération théorique, il nous semble en effet que tout ce que la théorie peut donner actuellement, c'est l'équivalence formelle que nous avons posée au début de ce travail. Il faudrait pouvoir introduire dans l'équation des ondes la fonction potentielle *V*, caractéristique du réseau cristallin, d'où un problème mathématique très ardu dont on peut à peine tirer une théorie de l'intensité des faisceaux réfléchis, les difficultés rencontrées ensuite pour obtenir l'accord entre l'expérience et la théorie devant être les mêmes que celles auxquelles on se heurte pour les rayons X (connaissance imparfaite de l'état du cristal de la structure provoquant la diffraction). Les premiers essais dans cet ordre d'idées sont encore bien imparfaits.

» L'expérience établit des phénomènes de diffraction dus aux électrons, mais il faut bien avouer qu'ils sont nettement incompréhensibles et incompatibles avec nos images de l'électron : non seulement on se trouve en présence des difficultés des problèmes d'interférences du point de vue quantique, mais encore le quantum doit être doué ici des propriétés électriques reconnues à l'électron, et le principe d'indétermination nous semble peu satisfaisant puisqu'il revient à la suppression du principe de causalité.

» Si cependant nous tentions de nous faire une image classique, en raisonnant comme pour des interférences de rayons X, un fait important est celui-ci : les anneaux observés avec des cristaux tels que ceux des oxydes étudiés sont très nets ; leur largeur n'est pas supérieure à celle du diaphragme de source du faisceau électronique. Cela signifie qu'un certain nombre de plans cristallins interviennent dans la diffraction; un calcul très approximatif montre que, dans le cas du plan 100 de ZnO par exemple, pour des électrons correspondant à une tension de 13 000 v environ, il faut que 50 plans environ aient envoyé des ondes diffractées dans la direction du maximum d'interférence. Le train d'ondes associées doit être très long devant le diamètre qu'on admettait pour l'électron (100 angströms au moins) et on ne voit pas quel rapport on peut établir entre ce train d'ondes et la singularité qui devrait représenter la charge électrique de l'électron. Les images classiques ne peuvent donc être conservées. » — A. B.

Sur l'utilisation à la production de l'énergie de la différence de tension de la vapeur émise à la même température par l'eau douce des fleuves et l'eau salée des mers.

A la séance du 22 septembre 1930 de l'Académie des Sciences, le président, M. Louis Bouvier, donna lecture d'un télégramme par lequel M. G. Claude annonçait à ses collègues la mise en fonctionnement de la première partie de son installation destinée à l'utilisation de l'énergie thermique des mers. Au cours de cette même séance, M. C. RAVEAU, secrétaire de la rédaction des « Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences », lut un mémoire dans lequel il signale qu'une amélioration notable du procédé serait obtenue en substituant à l'eau de mer chaude l'eau douce d'un fleuve à la même température. Voici le texte de ce mémoire (1) :

Ce n'est pas seulement une différence de température qui, comme l'a remarqué Carnot, peut engendrer de la force motrice. Toute hétérogénéité, notamment une différence de composition chimique, est, on le sait, dans le même cas, à la condition que nous puissions obtenir des forces différentes, dont la résultante produira du travail. Dans le dispositif de MM. Claude et Boucherot, on utilise la variation de la force élastique de la vapeur d'eau salée avec la température. Mais entre l'eau salée et l'eau douce il existe aussi, à la même température et en vertu de la salure seule, une différence de tension de vapeur.

(1) C. RAVEAU; Sur l'utilisation des fleuves à leur embouchure. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 22 septembre 1930, t. CXCI, p. 472-473.

C'est cet écart qui porte le point d'ébullition de l'eau de mer, sous la pression normale, de 100°C à 103°,7C, température à laquelle la tension de vapeur de l'eau pure dépasse 866 mm. Sous les tropiques, si la température de l'eau de mer superficielle et celle des fleuves à leur embouchure est d'environ 30°C, l'emploi de l'eau douce au lieu de l'eau de mer chaude équivaudra à réchauffer celle-ci à 32° C. C'est donc une amélioration notable du procédé, qui peut être obtenue sans aucune dépense.

Pourrait on songer à utiliser uniquement l'eau douce et l'eau de mer superficielle à la température de l'atmosphère? Tout se passerait alors comme si l'on utilisait une différence de température de 2 degrés seulement, soit entre eau douce comme à Ougrée (1), soit entre eaux salées. Si faible que soit cette différence, elle entraîne cependant une variation relative de pression comprise entre 106 et 866 mm, ce qui correspondrait, dans l'air atmosphérique, à un millier de mètres et à une hauteur non moindre si l'on passe à la vapeur d'eau, même aux températures ordinaires. Si, dans une atmosphère qui serait composée uniquement de vapeur d'eau au-dessus d'eau pure, on plaçait un vase contenant de l'eau de mer, celle-ci condenserait la vapeur, et, par conséquent, attirerait l'eau douce jusqu'à ce qu'on l'ait élevée à plus de 1 000 m. Inversement, l'ingénieur désireux d'utiliser les forces naturelles doit donc se représenter que, quand l'eau d'un fleuve vient se mélanger à celle de la mer, la perte est la même que si le fleuve arrivait au sommet d'une falaise de plus de 1 000 m de haut et qu'on le laissât s'écouler sans exploiter la chute d'eau. Certes un très grand progrès dans l'emploi des turbines aux températures atmosphériques serait nécessaire avant qu'on pût songer à tirer parti de la seule salure de l'eau de mer opposée à l'eau douce; mais il semble bien qu'on ne doive pas décourager les recherches dans ce sens, si l'on songe à l'élévation de la seule limite qu'impose la théorie et aux deux avantages que présenterait ce procédé : 1° la suppression du tube amenant l'eau salée de profondeur; 2° la possibilité d'opérer à l'embouchure d'un fleuve quelconque, le travail dépendant à peu près uniquement de l'abaissement relatif de tension de vapeur, lequel ne varie pas avec le climat, tropical ou tempéré.

(1) G. Claude; Sur l'utilisation thermique des mers *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 4 juin 1928, t. CLXXXVI, p. 1491-1495; communication reproduite dans la *Revue générale de l'Electricité*, 30 juin 1928, t. XXIII, p. 1103-1106.

Mesure de l'intensité des champs magnétiques périodiques de haute fréquence (1).

L'audibilité des signaux dans un récepteur de radiocommunications, étant fonction des champs électrique et magnétique qui règnent au voisinage de l'antenne réceptrice, on s'est trouvé conduit à imaginer des méthodes de mesure des intensités des champs électriques et magnétiques périodiques de haute fréquence. A cet égard, divers chercheurs ont discuté certains aspects de la mesure de l'intensité des champs magnétiques.

Le présent travail diffère des précédents en ce qu'il comporte, précisément, des mesures d'intensités de champ au voisinage immédiat de la bobine parcourue par le courant et que les fréquences envisagées vont jusqu'à 25×10^6 p : s.

Deux méthodes d'exécution de ces mesures sont décrites dans l'article qui nous occuppe. Dans la première méthode, on calcule l'intensité du courant traversant la bobine, à partir des indications d'un voltmètre à tube à vide relatives à la chute de potentiel à travers une inductance étalon. Les intensités de courant ainsi obtenues sont comparées avec les indications d'ampèremètres thermiques dans le domaine pour lequel ils sont gradués. Pour des courants plus intense, les instruments sont shuntés et gradués, pour les longueurs d'onde particulières envisagées, par la méthode de l'inductance étalon. A partir de ces valeurs connues de l'intensité du courant, on calcule aisément l'intensité du champ magnétique correspondant.

Par la seconde méthode, la force électromotrice induite dans une bobine à une seule spire placée dans le champ à mesurer est indiquée par un voltmètre à tube à vide. On calcule ensuite l'intensité du champ nécessaire pour induire la force électromotrice observée.

Les deux méthodes ont fourni des résultats dont la concordance est satisfaisante.

L'auteur a apporté au voltmètre à tube à vide des améliorations destinées à permettre son emploi jusqu'à des fréquences de 25×10^6 p : s. — L. B.

(1) R.-H. Mortimore. *The physical Review*, 1er avril 1930, t. XXXV (2e série), p. 753-762, 3 000 mots, 5 figures.

ERRATA

Dans l'article de M. H. Pécheux, intitulé « Intensité lumineuse moyenne conique: Applications à l'éclairage électrique des surfaces circulaire » publié dans notre numéro du 30 septembre 1930, p. 429-437, il y a lieu, en raison d'une transposition inexacte de correction, d'apporter les rectifications suivantes :

Page 433, 1re colonne, rétablir le texte comme il suit à partir de la 19e ligne:

Le résultat que nous venons de trouver correspond à une lampe d'intensité horizontale égale à 451 bougies; pour obtenir $I_c = 440{,}6$ bd, la lampe utilisée devra fournir une intensité horizontale égale à

$$451 \times \frac{440{,}6}{1\,503{,}26} = 132{,}2 \text{ bd};$$

et une intensité moyenne hémisphérique, la lampe étant nue, égale à

$$523 \times \frac{440{,}6}{1\,503{,}26} = 153{,}29 \text{ bd}.$$

Page 435, 2e colonne, 17e ligne, au lieu de : surface réfléchissante argentée, lire : surface réfléchissante μ argentée.

SECTION INDUSTRIELLE

Variation de la résistance des prises de terre traversées en permanence par un courant alternatif

Dans l'article qui suit sont reproduits les résultats de mesures de résistances effectuées pendant cinq années consécutives sur des prises de terre traversées par un courant. Ces résultats permettent de se rendre compte que le passage du courant n'apporte pas de modification sensible à la valeur de ces résistances.

I. **Introduction**. — L'emploi du sol pour le retour du courant dans une ligne monophasée à haute tension, emploi que nous avons jadis proposé comme une solution économique pour l'électrification rurale (1), exige des prises de terre d'une résistance assez faible et relativement constante, afin d'éviter tout danger et de maintenir une chute de tension acceptable. Il nous a paru intéressant de rechercher si la constance de ces prises de terre se maintenait, même après le passage d'un courant intense et prolongé pour répondre à certaines objections qui nous avaient été faites.

II. **Constitution des prises de terre**. — Les prises de terre, soumises aux essais relatés dans la présente note, ont été constituées par une plaque de tôle galvanisée, de forme carrée et d'un mètre de côté, enterrée verticalement dans un lit de poussier de coke. L'arête supérieure est recouverte de tuiles demi-rondes se chevauchant et le conducteur, en cuivre, d'une section de 50 mm², est protégé par des tubes verticaux en poterie.

La jonction du câble est effectuée par une cosse en bronze boulonnée et soudée à la plaque, puis enrobée dans du goudron, afin d'éliminer les risques de corrosion au point de raccordement.

Les trois terres étudiées sont désignées par les lettres N, P et A (fig. 1). Les plaques des terres N et P ont été enterrées de telle façon que leur arête supérieure soit à 2,50 m de profondeur dans le sol. Cette distance est réduite à 1 mètre pour la terre A. En faisant les fouilles, il a été constaté que le terrain était plus humide à l'emplacement de la terre N qu'à celui des deux autres.

Les plaques N et P ont été placées perpendiculairement aux extrémités d'un axe de 12 mètres de longueur et la prise de terre A, sur la perpendiculaire élevée au milieu de l'axe et à 8 mètres du pied de celle-ci.

L'installation a été réalisée le 15 juillet 1924; nous avons attendu un mois pour commencer les mesures, afin de laisser s'opérer, dans des conditions normales, le tassement naturel du terrain.

III. **Mesures effectuées**. — Les courants, qui ont été maintenus en permanence sur les terres N et P pendant toute la durée des expériences, ont été choisis

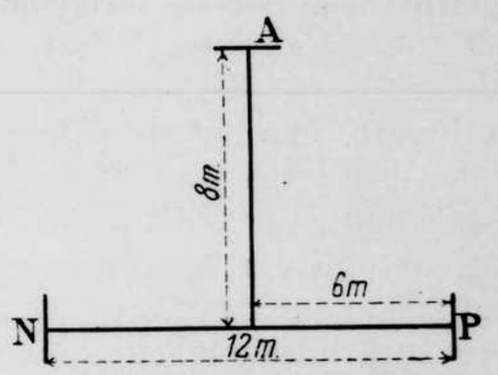


Fig. 1. — Croquis montrant la disposition des trois prises de terre.

d'un ordre de grandeur correspondant à une transmission à tension moyenne telle qu'il en existe couramment dans les réseaux à 5 000 ou 10 000 v, par exemple. Leurs intensités ont été les suivantes :

1° Du mois d'août 1924 au mois d'août 1928

P, 7,2 A; N, 1,4 A; A, 0 A;

2° Du mois d'août 1928 au mois d'août 1929

P, 18,5 A; N, 24 A; A, 0 A.

IV. **Résultats des essais**. — Les résultats des mesures de résistance, effectuées fréquemment, sont reportés sur les graphiques de la figure 2.

On y constatera que la terre N, dont l'emplacement était plus humide que ceux des deux autres, a une valeur moyenne plus faible que la terre P. La résistance de la prise de terre A, enterrée moins profondément et non parcourue par le courant, a une valeur moyenne nettement plus élevée que les deux autres et

(1) Georges Viel; Distributions rurales économiques d'énergie par lignes en fer galvanisé ou en cuivre avec retour par la terre. *Revue générale de l'Electricité*, 25 août 1923, t. XIV, p. 253-259.

présente de plus grandes irrégularités au cours du temps. La profondeur devrait toujours être d'au moins 2,50 m.

V. **Conclusion**. — Les mesures poursuivies pendant cinq années consécutives nous permettent de conclure

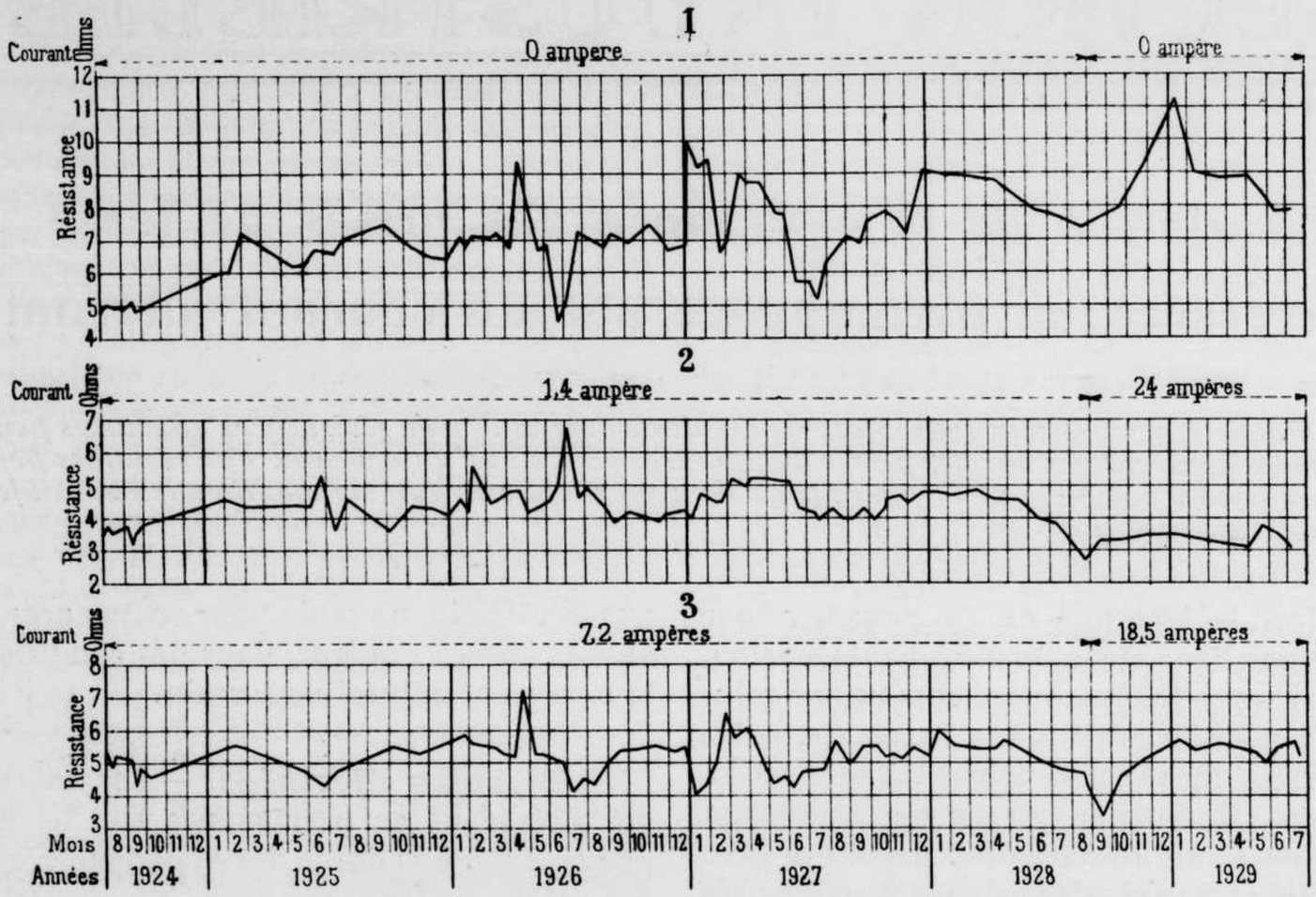


Fig. 2. — Courbes montrant les variations, dans le temps, des résistances des prises de terre : 1, prise de terre A ; 2, prise de terre N ; 3, prise de terre P.

que les prises de terre établies simplement d'après les données usuelles précisées plus haut, et traversées par un courant limité à une densité inférieure à 25 A : m², sont susceptibles de conserver leur valeur d'une façon suffisamment constante pour assurer, en toute sécurité, la transmission d'énergie électrique avec retour par le sol.

On en déduit aussi que si les prises de terre de protection des postes et des réseaux sont correctement établies dès le début (2,50 m au dessous du sol), elles ne nécessiteront pas de coûteuses réfections périodiques.

Georges VIEL,
Directeur de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre, à Saint-Etienne.

Les chaudières de l'usine génératrice d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Électricité

L'aménagement des usines génératrices de Saint-Ouen et d'Issy-les-Moulineaux, de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité a fait l'objet, dans un article antérieur (*), d'une étude d'ensemble dont le cadre ne permettait pas d'exposer en détail les particularités présentées par les chaudières récemment installées lors de l'extension de cette dernière usine. Ces chaudières étant caractérisées principalement par l'adoption d'une pression de vapeur élevée, nécessitant des dispositions d'ordre constructif particulières, il nous a semblé opportun, la question de l'emploi des hautes pressions dans les installations thermiques étant à l'ordre du jour, de publier ici une description détaillée de ces appareils avec l'énumération de leurs caractéristiques de construction et l'étude des dispositifs accessoires dont elles sont pourvues. C'est cette description qui fait l'objet du présent article rédigé par les soins des constructeurs intéressés : les Etablissements Delaunay-Belleville, la Compagnie de Fives-Lille et la Société alsacienne de Constructions mécaniques, chacun pour la partie qui le concerne.

I. **Considérations générales**. — Lors des travaux d'extension de l'usine génératrice d'Issy-les-Moulineaux, des considérations d'économie générale ont conduit la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité à choisir pour ses nouvelles chaudières une pression de 44 kg : cm², une température de surchauffe de 450°C et à pousser le réchauffage de l'eau d'alimentation jusqu'à 170°C au moyen de prélèvements de vapeur aux turbines.

(*) L. VELLARD ; Les usines génératrices de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité. *Revue générale de l'Electricité*, 17 et 24 mai 1930, t. XXVII, p. 775-786 et 819-830.

Les résultats satisfaisants obtenus pour des pressions un peu inférieures, dans d'assez nombreuses installations, et l'essai isolé mais important réalisé à Milwaukee avec une chaudière timbrée à 97 kg : cm² et une surface de chauffe de 2 000 m² recommandaient l'adoption du type de chaudière à tubes verticaux et à trois collecteurs.

Le réchauffage de l'eau d'alimentation, poussé jusqu'à la température de 170°C, a fait exclure les économiseurs, du fait que la marge restant pour atteindre la température d'ébullition sous le timbre choisi était trop faible et ne leur aurait pas permis de travailler dans les conditions optima.

La récupération devait dès lors porter sur le réchauffage de l'air qu'il apparut économique de pousser jusqu'à la température de 220°C. Cette raison militait en faveur de la chauffe au charbon pulvérisé, car l'état de la technique en 1926 ne permettait pas d'envisager l'emploi de grilles ou de foyers mécaniques avec de l'air de combustion à une température aussi élevée que celle qu'on devait obtenir.

D'ailleurs, la chauffe au charbon pulvérisé, non seulement s'accommode de l'insufflation d'air très chaud, mais la température élevée qui en résulte au foyer améliore même la combustion.

Fig. 1. — Vue prise en atelier d'un collecteur forgé monobloc pour chaudière à 44 kg : cm² de la Société alsacienne de Constructions mécaniques.

Le charbon pulvérisé se recommandait d'ailleurs par les avantages qui, déjà en 1926, avaient contribué à en étendre considérablement l'emploi; sa souplesse permet, en effet, de varier l'allure de combustion dans des limites très étendues et avec le maximum de rapidité, considération importante lorsqu'il s'agit d'alimenter un réseau comme celui de la vilte de Paris où la charge présente de très brusques variations. Le charbon pulvérisé permet, en outre, un réglage bien plus aisé des conditions de chauffe, lorsque la qualité du charbon vient à varier.

La rapidité dans les variations d'allure rend possible une réduction du volant d'eau, ce qui est d'ailleurs précieux quand on doit employer des collecteurs forgés monoblocs dont le prix est élevé.

Le rendement visé limitait à 180°C environ la température de sortie des fumées, ce qui permettait de réchauffer l'air à la température de 220°C environ.

En effet, le poids d'air étant approximativement les

trois quarts du poids des fumées et celles-ci entrant dans le réchauffeur à la température de 330°C pour en sortir à 180°C, il en résultait une élévation de la température de l'air de combustion d'à peu près 200°C.

Rappelons qu'avec la pression de 44 kg : cm² et la température de surchauffe de 450°C, les données de vaporisation étaient : 72 t pour la production horaire de vapeur en marche normale, 100 t en marche poussée continue et 120 t en pointe de 3 heures.

De plus, on devait pouvoir descendre à une production horaire minimum de 20 t de vapeur.

II. **Dispositions générales de la chaufferie.** — La chaufferie fut construite pour abriter au total six chaudières, réparties de chaque côté de la rue de chauffe.

L'installation d'une chaudière fut provisoirement réservée et le délai très court dans lequel il fallut exécuter et mettre en place les cinq chaudières qui devaient être installées conduisit la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité à répartir la commande de cet important matériel entre les trois constructeurs français qui possédaient les plus importants moyens d'action.

Les chaudières portant les numéros 41 et 42 furent commandées aux Etablissements Delaunay-Belleville, les chaudières 44 et 45 à la Compagnie de Fives-Lille et la chaudière 46 à la Société alsacienne de Constructions mécaniques.

Le trait saillant de l'adaptation des chaudières ordinairement construites par ces trois sociétés, à la pression de 44 kg:cm², fut le remplacement des collecteurs chaudronnés, employés jusque-là pour des pressions moindres, par des collecteurs forgés monoblocs.

La réalisation de ces collecteurs par les grandes forges de France, MM. Schneider et Cie, les Aciéries et Forges de Firminy et les Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt a constitué le premier travail de ce genre exécuté en France. Leur fabrication a été conduite de façon très analogue à celle des tubes de canon, à partir d'un lingot de 100 t par forage, forgeages et recuits successifs. Leur poids, après usinage, atteint près de 30 t. Ils sont terminés par deux fonds hémisphériques dans lesquels sont ménagés deux orifices de visite avec fermeture autoclave. La figure 1 représente une vue prise en atelier d'un des collecteurs.

III. **Description des chaudières.** — A. **Chambres de combustion.** — Les chambres de combustion des chaudières des Etablissements Delaunay-Belleville ont été construites par la Société pour l'Utilisation des Combustibles. Celles des chaudières de la Compagnie de Fives-Lille et des chaudières de la Société alsacienne de Constructions mécaniques ont été construites par la Société anonyme des Foyers automatiques de Roubaix. Ces chambres de combustion ont déjà fait l'objet d'une description dans cette revue (1). Rappelons seulement qu'elles présentent un volume d'environ 500 m³ et sont garnies d'écrans d'eau où s'effectue 30 à 35 pour 100 de la vaporisation totale de la chaudière. L'insufflation d'air très chaud accroît la température dans la chambre de combustion et permet, sans que l'on risque de refroidir exagérément les gaz, d'augmenter l'absorption de chaleur par rayonnement en utilisant ces écrans d'eau. Ceux ci doivent être soigneusement placés et calculés pour laisser aux gaz, à leur passage dans le premier faisceau et surtout à leur arrivée sur le surchauffeur, une température suffisante.

Un excès de surface refroidissante compromettrait, d'autre part, la combustion, et on voit qu'il y a à observer un équilibre qui rend très délicat le choix des éléments des écrans d'eau, c'est à-dire les dimensions des tubes, leur écartement, leur longueur, etc.

D'autre part, de sérieuses difficultés résultent du passage de ces tubes à travers le briquetage qui doit être réalisé de façon à permettre leur dilatation.

B. **Chaudières proprement dites.** — 1. Chaudières Ladd-Belleville. — Les chaudières Ladd Belleville présentent une surface de chauffe de 1 750 m². Chaque chaudière (fig. 2) est constituée par trois corps cylindriques du modèle décrit ci-dessus : deux collecteurs supérieurs reliés entre eux par des tubes de communication de vapeur et d'eau et un collecteur inférieur relié aux précédents par trois faisceaux de tubes vaporisateurs. Le premier faisceau, faisceau de coup de feu, est composé de tubes de 82 mm × 72 mm. Le second faisceau, séparé du premier par un intervalle dans lequel est placé le surchauffeur, est composé de tubes de 60 mm × 53 mm.

Ces deux faisceaux relient le collecteur supérieur avant au collecteur inférieur.

Le troisième faisceau, reliant le collecteur supérieur arrière au collecteur inférieur, est composé de tubes de 60 mm × 53 mm.

1° Collecteurs. — Les collecteurs supérieurs sont suspendus à des poutres du bâtiment à l'aide de goussets fixés sur les viroles et de tirants et soutiennent le collecteur inférieur par l'intermédiaire des tubes.

Les dimensions principales des collecteurs sont les suivantes :

1° Corps cylindriques supérieur avant et inférieur.

Diamètre intérieur	1,200 m
Longueur totale de la partie droite.	8,450 m
Epaisseur	8 mm

2° Corps cylindrique supérieur arrière.

Diamètre intérieur	1,200 m
Longueur totale de la partie droite	7,200 m
Epaisseur	80 mm

3° Faisceau tubulaire de coup de feu.

Tubes de	82 mm × 72 mm
Nombre de tubes	249

(1) **Les récents travaux d'extension de l'usine d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité.** *Revue générale de l'Electricité*, 14 juin 1930, t. XXVII, p. 952.

4° Second et troisième faisceaux.

Tubes de.....	60 mm × 53 mm
Nombre de tubes.....	1 276
Rayons de courbures.....	1,270 m et 870 mm
Volume de vapeur en ordre de marche.....	44 m³
Volume d'eau en ordre de marche.	11 m³

2° *Surchauffeur.* — Le surchauffeur est établi pour porter la température de la vapeur saturée produite par la chaudière à 440°C à l'allure normale. Il est placé entre le faisceau de tubes de coup de feu et le second faisceau de tubes vaporisateurs et constitue le deuxième parcours des gaz.

La vapeur saturée est prise dans le ballon supérieur arrière, conduite par deux tubes dans le collecteur de vapeur saturée du surchauffeur, passe dans les tubes de surchauffeur et arrive dans le collecteur de vapeur surchauffée pour être envoyée aux turbines.

Les caractéristiques du surchauffeur sont les suivantes :

Nombre de collecteurs.....	2
Nombre d'éléments.....	63
Diamètre des tubes.....	47 mm × 39 mm
Surface de chauffe.....	500 m²

Chaque élément est constitué par un serpentin en tubes d'acier doux; les divers tronçons de l'élément sont soudés à l'autogène.

Les éléments sont assemblés sur les collecteurs par joints spéciaux avec interposition de chemises en nickel.

3 *Chicanage et parcours des gaz.* — Les gaz sont dirigés dans leur parcours à l'intérieur de la chaudière par sept chicanes.

La première chicane se trouve placée entre les tubes de la cinquième rangée du faisceau de coup de feu, obligeant les gaz à lécher tous les tubes de ce faisceau. Les gaz descendent ensuite dans le surchauffeur, entre la première et la deuxième chicane, celle-ci étant placée entre les tubes de la première rangée du second faisceau.

Après avoir traversé le surchauffeur, les gaz remontent entre les deuxième et troisième chicanes parcourant le second faisceau dans toute sa longueur, la troisième chicane étant placée entre les tubes de la dernière rangée du second faisceau.

Les gaz suivent alors un parcours horizontal dans

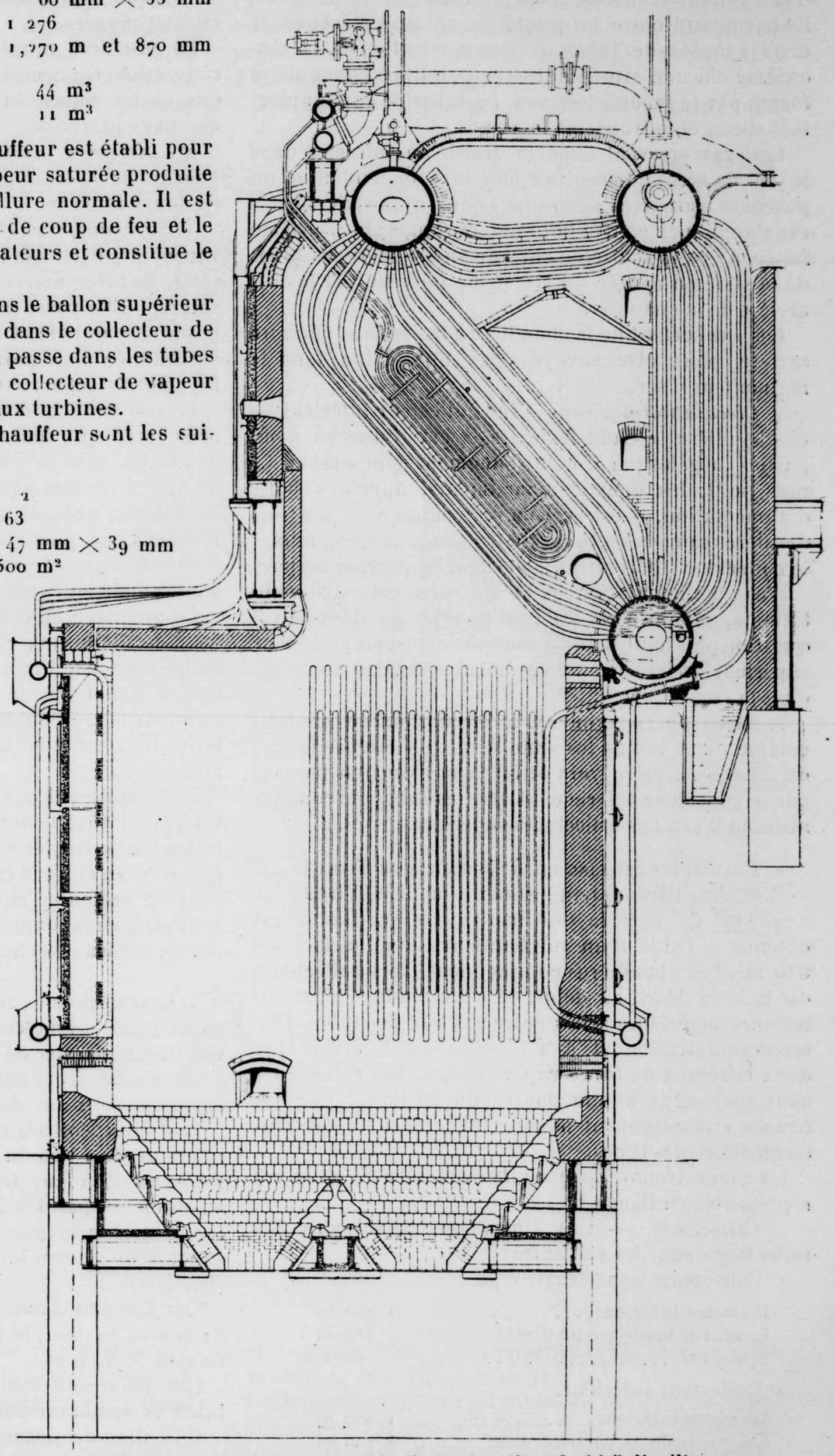


Fig. 2. — Coupe transversale d'une chaudière Ladd Belleville.

lequel ils rencontrent les tubes de communication d'eau reliant les deux corps cylindriques supérieurs, ils cheminent entre la quatrième chicane placée entre deux rangées de tubes de communication et la cinquième chicane située dans l'espace libre triangulaire formé par le second faisceau, les tubes de communication d'eau et le troisième faisceau.

Les gaz arrivent dans le troisième faisceau dans lequel ils accomplissent un parcours descendant et un parcours ascendant déterminés par : *a*) la sixième chicane appliquée contre la première rangée du troisième faisceau ; *b*) la septième chicane située entre les tubes de la sixième rangée du troisième faisceau ; *c*) le mur arrière de la chaudière.

Les gaz sortent de la chaudière à la partie supérieure arrière pour être envoyés par une gaine dans le réchauffeur d'air.

4° *Circulation de l'eau.* — Le collecteur inférieur de la chaudière « Ladd-Belleville » est divisé en deux parties inégales par un cloisonnement démontable. Le plus petit des deux compartiments, appelé « boîte d'alimentation, » est en communication avec les trois dernières rangées de tubes du troisième faisceau reliant le collecteur inférieur au collecteur supérieur arrière.

L'eau d'alimentation arrive dans la « boîte d'alimentation », monte dans les tubes verticaux dont il est question plus haut et qui la conduisent dans le collecteur supérieur arrière où elle se mélange à l'eau contenue dans la chaudière.

A partir de ce moment, la circulation se produit, comme dans toutes les chaudières, en circuit fermé, du faisceau arrière vers le faisceau avant en passant par le collecteur inférieur et par les tubes de communication d'eau des collecteurs supérieurs.

2. Chaudières Stirling de la Compagnie de Fives-Lille. — Les chaudières Stirling sont du modèle Wh/Hp, de 1 770 m² de surface de chauffe. La surchauffe est obtenue à l'aide d'un surchauffeur d'une surface de 630 m². Les chaudières comprennent trois collecteurs du modèle décrit au début de cette étude : deux collecteurs supérieurs reliés entre eux par des tubes d'intercommunication et à un collecteur inférieur par deux faisceaux de tubes vaporisateurs. Les collecteurs sont suspendus à une poutre du bâtiment par des tirants et soutiennent le collecteur inférieur par l'intermédiaire des tubes.

La coupe transversale d'une chaudière Stirling est représentée en figure 3.

1° *Collecteurs.* — Les dimensions principales des collecteurs sont les suivantes :

1° Collecteurs supérieurs.

Diamètre intérieur	1,200 m
Longueur totale partie droite	9,450 m
Epaisseur	80 mm

2° Collecteur inférieur.

Diamètre intérieur	1,200 m
Longueur de la partie droite	8,200 m
Epaisseur	80 mm

Le faisceau avant, ou de coup de feu, est composé de 394 tubes de 82 mm × 72 mm de diamètre répartis en cinq rangées.

La première rangée travaille par rayonnement et convection. On compte que les rangées suivantes ainsi que toutes celles du faisceau arrière ne travaillent que par convection.

2° *Faisceau arrière.* — Ce faisceau comporte 1 024 tubes de 60 mm × 53 mm de diamètre répartis en douze rangées.

3° *Surchauffeur.* — Le surchauffeur est double. La vapeur prise dans le ballon supérieur arrière par deux séries de tubes arrive dans deux collecteurs de vapeur saturée. Elle passe dans deux faisceaux de tubes disposés en parallèle et aboutit au collecteur de vapeur surchauffée d'où part la tuyauterie de vapeur vers les ballons séparateurs.

Le surchauffeur est constitué par trois collecteurs en acier forgé qui sont forés dans la masse et 222 éléments en tube d'acier doux étiré sans soudure de 38 mm × 30 mm de diamètre, ces tubes étant, en cas de besoin, aboutés avec manchon de renforcement fileté et vissé, puis soudé sur les deux extrémités.

4° *Chicanes et parcours des gaz.* — Les gaz sont guidés dans leur parcours par quatre chicanes.

La première chicane est appliquée contre les tubes de la dernière rangée du faisceau de coup de feu ; elle oblige les gaz qui remontent de la chambre de combustion à lécher tous les tubes de ce faisceau avant d'arriver sur le surchauffeur qui est situé dans un espace laissé libre entre les tubes des deux faisceaux avant et arrière.

La seconde chicane force les gaz à redescendre en traversant tout le surchauffeur et ils doivent ensuite remonter entre les seconde et troisième chicanes et redescendre entre la troisième et la quatrième, avant de pouvoir remonter en se refroidissant au contact des trois dernières nappes de tubes. Ils sont alors dirigés par un carneau vertical sur le réchauffeur d'air.

3. Chaudière de la Société alsacienne de Constructions mécaniques. — La chaudière de la Société alsacienne de Constructions mécaniques a une surface de chauffe de 1 800 m². Les trois collecteurs sont forgés de la même façon que ceux des chaudières précédemment décrites.

Les deux collecteurs supérieurs ont un diamètre intérieur de 1,200 m, le collecteur inférieur, un diamètre de 1,250 m. Les deux premiers sont suspendus au bâtiment par des bielles articulées permettant les légers déplacements qu'imposent les dilatations ; ils supportent le corps inférieur et les faisceaux tubulaires (fig. 4).

Le faisceau avant se compose de 330 tubes de 82 mm × 72 mm, le faisceau arrière, de 980 tubes de 60 mm × 53 mm.

Les deux collecteurs supérieurs sont réunis par des tubes de communication d'eau et de vapeur.

Un ballon de dégagement de vapeur de 600 mm de diamètre intérieur, forgé comme les collecteurs prin-

cipaux, surmonte le corps arrière et porte les soupapes de sûreté et diverses prises pour le ramonage.

La prise de vapeur est double : deux tuyauteries réunissent le ballon de dégagement aux deux extrémités du collecteur de vapeur saturée du surchauffeur. Celui-ci, d'une surface de chauffe de 840 m², est constitué par un faisceau de serpentins en tubes de 42 mm × 42 mm étirés sans soudure, réunissant le collecteur indiqué précédemment à un collecteur de vapeur surchauffée ; celui-ci est muni en son milieu d'une tubulure de dégagement.

Des chicanes réfractaires divisent les faisceaux tubu-

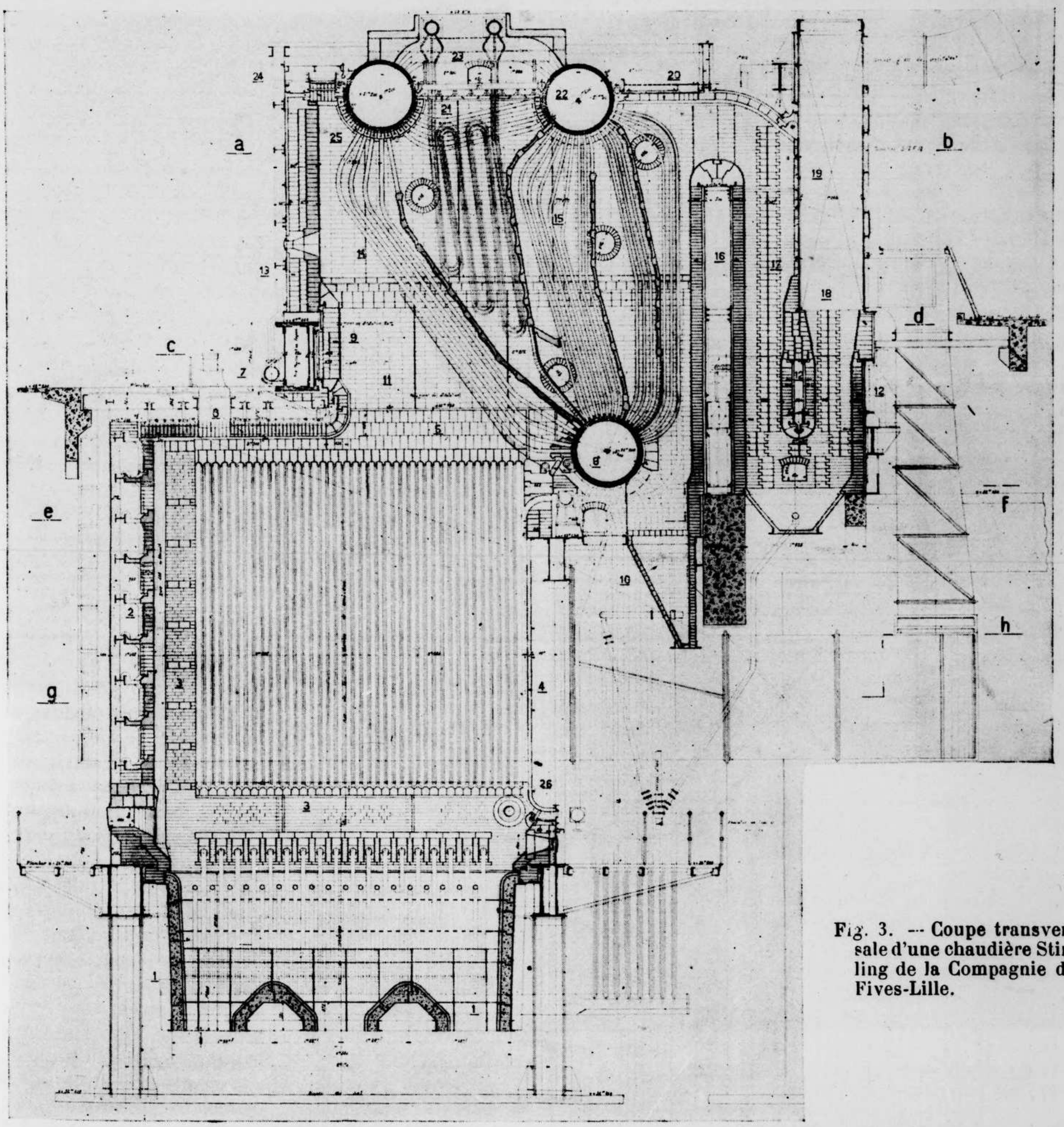


Fig. 3. — Coupe transversale d'une chaudière Stirling de la Compagnie de Fives-Lille.

laires en un certain nombre de parties parcourues successivement par les gaz chauds ; le premier faisceau est divisé en deux parties par une chicane s'appuyant sur le collecteur inférieur.

Après avoir balayé les tubes de la partie antérieure, les gaz chauds traversent le faisceau à sa partie haute, puis le surchauffeur, et reviennent dans la partie arrière et inférieure du premier faisceau.

Le deuxième faisceau est divisé en trois parties séparées par des couloirs permettant un accès facile aux chicanes. Les gaz pénètrent par le bas dans la première partie qu'ils parcourent de bas en haut, puis, dans la

deuxième partie, de haut en bas et enfin, dans la troisième, de bas en haut. A cet endroit ils quittent la chaudière pour pénétrer dans le réchauffeur d'air.

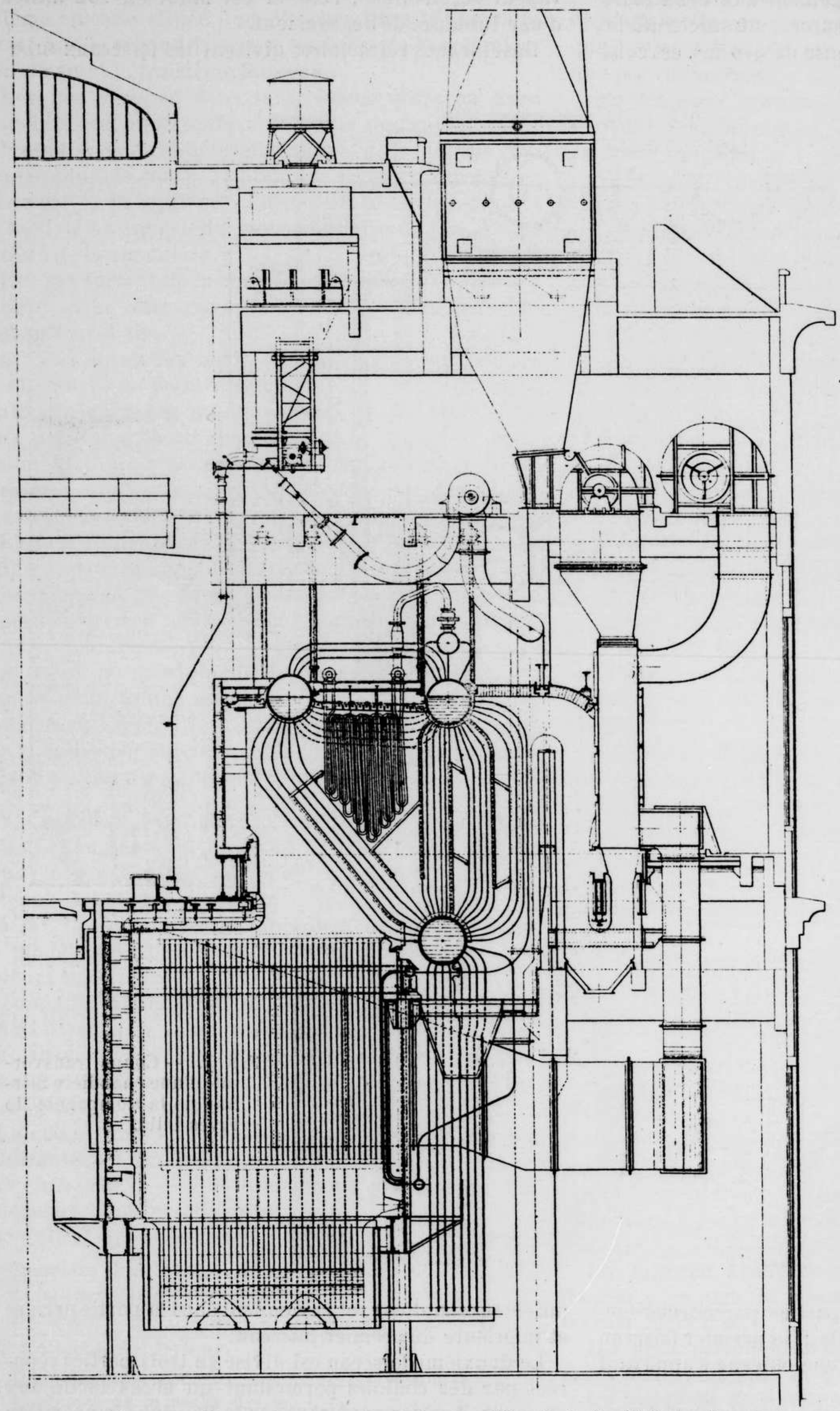


Fig. 4. — Coupe transversale de la chaudière de la Société alsacienne de Constructions mécaniques.

La figure 5 représente la partie inférieure de l'écran arrière, avec les tubes d'alimentation du collecteur inférieur et la figure 6 montre une vue de l'écran d'eau inférieur d'une chambre de combustion.

IV. Dispositions diverses communes aux trois types de chaudières. — A. Protection des ballons monoblocs. — Dans les chaudières à basse pression, on ne se donne pas la peine de protéger les collecteurs de vapeur et on compte même sur la partie de leur surface en contact avec les gaz chauds pour concourir à la vaporisation.

Mais, dans le cas des chaudières qui nous occupent, l'épaisseur des ballons aurait donné naissance à des phénomènes importants de dilatations contrariées : la paroi intérieure étant à la température de la vapeur saturée, à la pression de 44 kg : cm², soit environ 280° C, et la paroi extérieure étant à la température des gaz chauds, il en serait résulté des efforts considérables et une fatigue supplémentaire inadmissible pour le métal Aussi, a-t-on jugé indispensable de protéger convenablement les parties des collecteurs qui auraient pu être en contact avec les gaz et de recourir au procédé « Procyl » sur lequel il va être donné quelques détails.

Le revêtement du corps cylindrique avant s'étend depuis la toiture de façade jusqu'au plafond des surchauffeurs recouvrant entièrement le collecteur au-dessous de son axe. La surface à protéger du corps cylindrique arrière, beaucoup plus faible, se limite à la zone comprise entre le plafond des surchauffeurs et la deuxième rangée de chicanes.

L'appareillage Procyl comporte des éléments métalliques en alliage spécial et des éléments en terre réfractaire.

Les éléments métalliques se composent de crochets, de chaînes de suspension et de

supports. Les chaînes, constituées par des maillons qui s'emboîtent les uns dans les autres, reçoivent les crochets en forme de tête à marteau auxquels les briques sont suspendues. Les chaînes disposées parallèle-

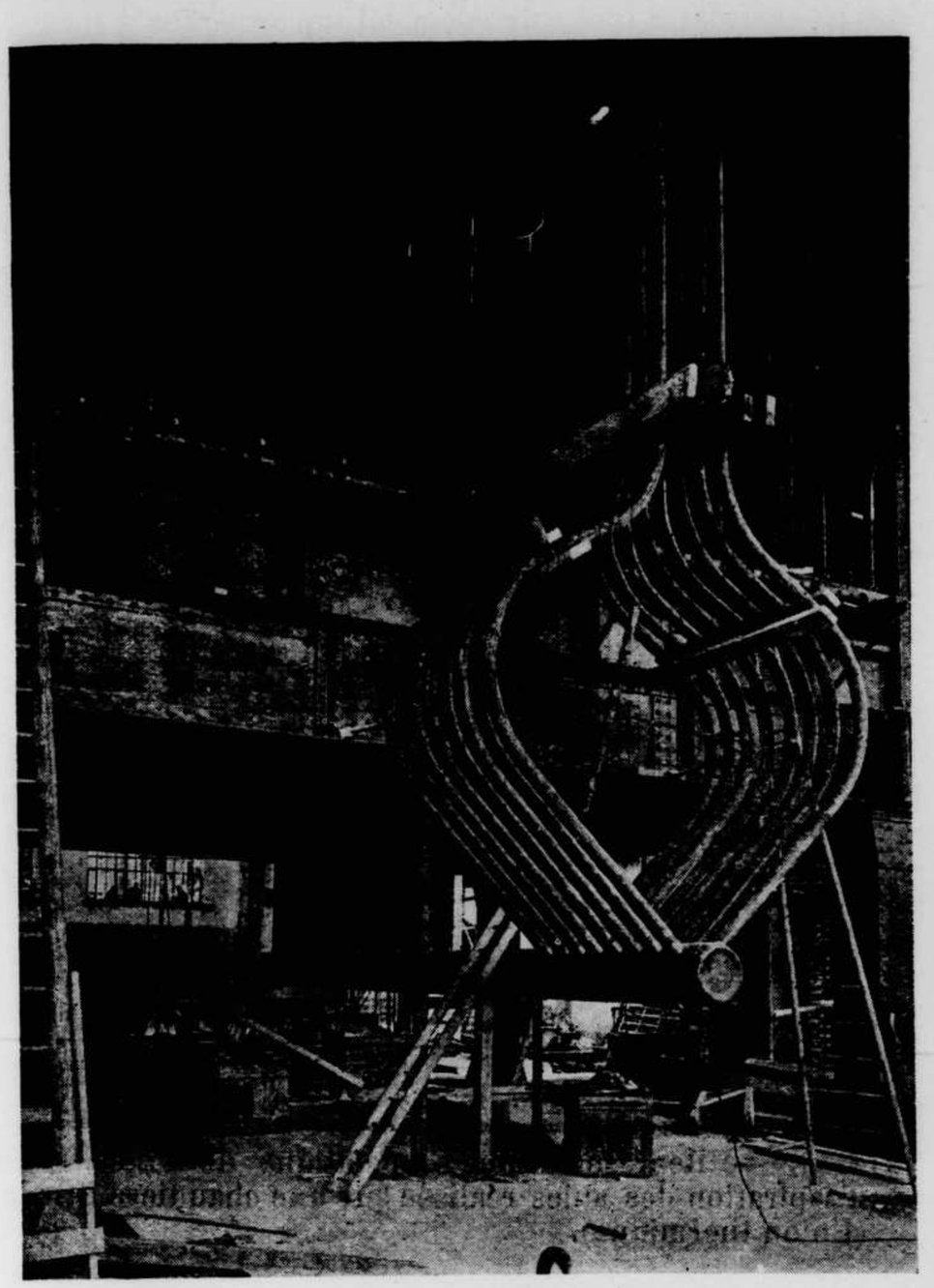


Fig. 5. — Vue de la partie inférieure de l'écran arrière, avec les tubes d'alimentation du collecteur inférieur de la chaudière de la Société alsacienne de Constructions mécaniques.

ment entre les files des tubes du faisceau se terminent par des tiges filetées permettant de régler leur tension et sont reprises en façade des chaudières par un fer placé à la partie supérieure de la toiture et, entre les deux corps cylindriques. par des palonniers fixés sur les armatures du plafond des surchauffeurs et la première rangée de tubes de 60 mm descendant au collecteur inférieur.

Les éléments de terre réfractaire comportent des briques de suspension et des briques intermédiaires. Les rangées de briques, suspendues aux chaînes par des crochets encastrés dans leurs alvéoles, suivent la circonférence extérieure du collecteur et recouvrent les intervalles réservés entre chaque file de tubes. Les briques intermédiaires, découpées suivant le contour des tubes et portant des épaulements qui les maintiennent sur les briques de suspension, comblent les intervalles qui séparent les tubes de chaque file dans le sens circonférentiel. Le collecteur est ainsi entièrement garni sur la surface à protéger de briques réfractaires d'environ 150 mm d'épaisseur qui l'isolent des gaz de combustion, tout en laissant passer les tubes du faisceau. Pour la vérification des dudgeons ou le changement des tubes, les chaînes portant les briques de suspension et les briques intermédiaires sont descendues deux par deux et le corps cylindrique peut ainsi, suivant les besoins, être découvert soit en entier, soit partiellement,

Dans les zones où le collecteur ne comporte pas de tubes, la protection est assurée sans modification à l'appareillage métallique, les briques intermédiaires étant pleines au lieu d'être découpées, comme dans le faisceau tubulaire.

B. **Enlèvement des suies.** — Le dispositif d'enlèvement des suies, adopté pour toutes les chaudières, est du type hydropneumatique et a été réalisé par l'Union thermique.

Ce procédé s'accommode parfaitement de la différence de grosseur des particules de suies qui se dépo-

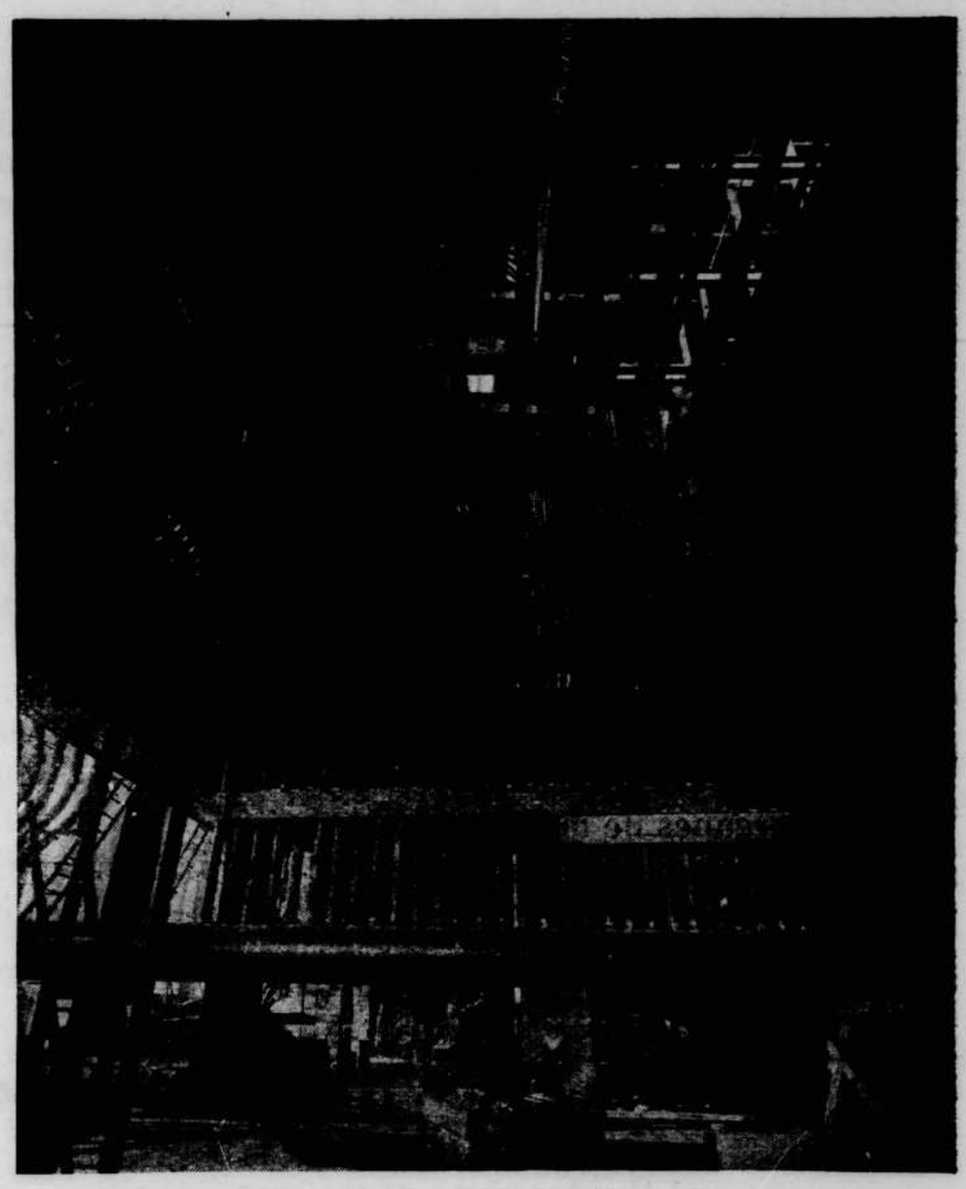


Fig. 6. — Vue de l'écran d'eau inférieur d'une chambre de combustion équipée par la Société anonyme des Foyers automatiques (en cours de montage).

sent sous forme de grains de petites dimensions dans les premiers parcours et atteignent des dimensions extrêmement réduites dans les parcours suivants, de sorte qu'au voisinage de la cheminée il ne reste plus en suspension dans les gaz que des poussières impalpables ; celles-ci sont arrêtées par le dépoussiéreur.

Le principe du système mis en œuvre consiste à faire passer de l'eau sous pression à travers une trompe de forme spéciale, en divisant cette eau le plus possible de façon à augmenter sa surface de contact avec l'air environnant.

On crée ainsi un courant d'air et les suies aspirées se mélangent à l'eau et sont évacuées sous forme de boue liquide.

La forme de la trompe est telle que l'aspiration des suies s'effectue au-dessus de la plaque distributrice d'eau, ce qui évite le colmatage de ces suies contre les parois.

L'extrémité de la tuyauterie plongeant dans la masse des suies possède une pièce de fonte, appelée suçoir, qui assure l'admission dans des proportions déterminées de l'eau et des suies dans les tubes d'aspiration. La proportion ainsi obtenue entre l'air et les suies écarte le risque d'engorgement des conduits.

Aux endroits où l'étendue des dépôts est trop importante pour un seul suçoir, on en dispose plusieurs sous forme de rampe, comme on l'a fait sous les économiseurs et sur le ballon inférieur des chaudières.

La manœuvre d'évacuation des suies ne comporte que deux opérations : ouverture et fermeture des vannes d'admission d'eau.

L'ouverture de la vanne d'injection d'eau provoque un vide dans le corps de trompe et un appel d'air par les deux tubulures d'arrivée de suies; chaque tuyauterie particulière allant aux chaudières, aux économiseurs, aux réchauffeurs, porte une vanne à glissière individuelle qu'il suffit alors d'ouvrir.

Ce dispositif nécessite une dépense de 11 kg d'eau environ pour 1 kg de suies et une puissance de 4 ch par tonne de suies évacuées.

La figure 7 montre schématiquement l'installation d'aspiration réalisée sur une des chaudières Stirling de la Compagnie de Fives-Lille. Cette installation est identique sur les autres chaudières.

A l'arrière de la chaudière deux trompes assurent l'évacuation de toutes les suies. Placée près de la première passerelle, la trompe A possède en son voisinage tous les organes de manœuvre.

L'eau motrice provient d'une canalisation à une pression de 3,5 kg : cm² ; l'évacuation s'effectue vers le canivelau d'enlèvement des mâchefers par une tuyauterie de 200 mm de diamètre.

Sur le ballon inférieur du générateur sont placées trois rampes de succion B possédant chacune trois

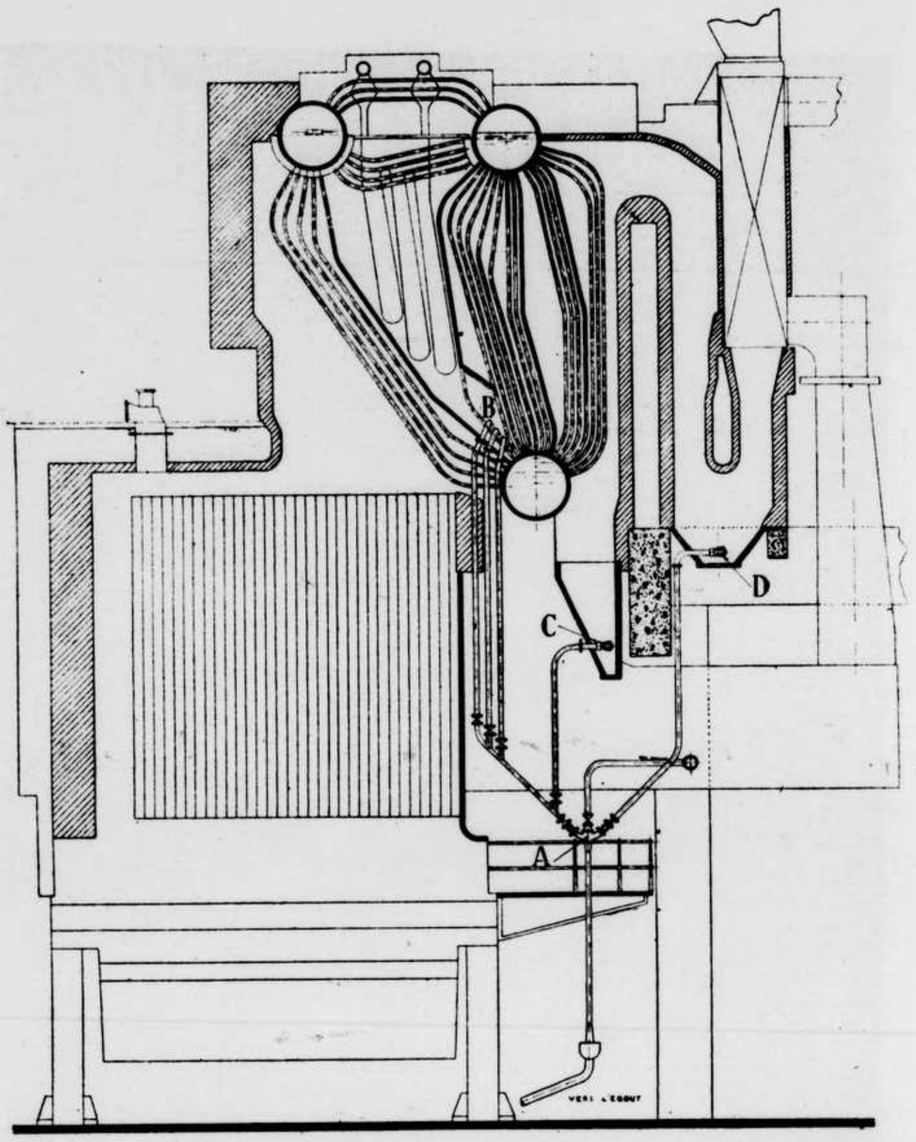


Fig. 7. — Représentation schématique de l'installation d'aspiration des suies réalisée sur une chaudière Stirling (Union thermique).

suçoirs en fonte, de 50 mm de diamètre. Ceux-ci sont réunis à la trompe par une tuyauterie en acier de 70 mm de diamètre.

Dans les trémies sous le ballon inférieur et sous le réchauffeur, un seul suçoir de 100 mm de diamètre C et D, réuni à la trompe par une tuyauterie en acier de 100 mm de diamètre, évacue les suies accumulées dans ces endroits.

Revues, analyses et informations

L'hydrogène atomique. Application à la soudure des métaux (1).

1. Introduction. — La présente étude comprend deux parties bien distinctes; l'une consacrée à l'exposé de la théorie du docteur Langmuir, à qui est due la découverte de l'hydrogène atomique, et l'autre à l'exposé des résultats des recherches entreprises par les auteurs dans le but, d'une part, de préciser les conditions de production de l'arc électrique dans une atmosphère d'hydrogène atomique, et, d'autre part, d'étudier l'influence de cet arc sur la fusion des métaux et alliages.

2. Théorie de Langmuir. — De nombreuses expériences ont montré que la perte de chaleur, par conductibilité et convection, d'un filament de tungstène incandescent dans divers gaz varie comme la puissance 1,9 de la température, résultat parfaitement en accord avec la théorie. Mais, dans le cas du tungstène dans une atmosphère d'hydrogène, on a constaté que cette loi n'était vérifiée que jusqu'à la température de 1 700° K et que l'exposant de la température augmentait

(1) Jean Brillié et Ernest Morlet. *Revue de Métallurgie*, décembre 1929, t. XXVI, p. 680-688 et janvier 1930, t. XXVII, p. 19-36, 9 000 mots, 18 figures.

ensuite assez rapidement. C'est ainsi qu'entre 2 600 et 3 400° K, cette perte varie comme la puissance 5 de la température, lorsque l'hydrogène est à la pression atmosphérique, et comme la puissance 6 si la pression du gaz n'est que celle qui correspond à la hauteur d'une colonne de mercure de 50 mm. Ceci conduit à supposer que les molécules sont dissociées en atomes à cette température. La très forte conductibilité de l'hydrogène dans ces conditions (23 fois celle de l'azote à 3 400° K) serait due à l'absorption de l'énergie du fil incandescent par la dissociation du gaz et à la libération de cette énergie dans la zone froide située au voisinage du filament.

L'expérience a d'ailleurs montré que l'hydrogène à basse pression arrivant au contact de fils de platine ou de tungstène à plus de 1 300° K acquiert des propriétés nouvelles; par exemple, il réduit rapidement à l'état métallique divers oxydes; il réagit à la température ordinaire avec l'anhydride phosphorique pour donner du phosphore; il se dissout dans le platine en augmentant sensiblement la résistance électrique de ce métal.

Il convient de remarquer, en passant, que le phénomène de dissociation de l'hydrogène par le tungstène à haute température ne se produit pas si des traces d'oxygène ou de vapeur d'eau viennent en contact avec le métal.

Notons aussi qu'il a été possible, par la mesure de la perte de chaleur d'un fil de tungstène porté à diverses températures dans l'hydrogène à basse pression, de déterminer le degré de dissociation et la chaleur de formation des molécules. Cette dissociation augmente considérablement la conductibilité calorifique du gaz, que l'on peut représenter par

$$W_c = S\,(\Phi_2 - \Phi_1),$$

équation dans laquelle Φ_1 et Φ_2 sont respectivement des fonctions de la température T_2 du fil et T_1 du gaz d'une quantité W_D donnée par

$$W_D = S D Q_1 c,$$

en désignant par S un facteur de forme; par D le coefficient de diffusion de l'hydrogène atomique en hydrogène moléculaire; par Φ_1 la chaleur libérée, en joules quand un gramme d'hydrogène atomique se combine pour former des molécules; par c la concentration en grammes par centimètre cube de l'hydrogène atomique à la température T_2.

Pour des conditions bien déterminées, on a pour $T_2 = 3\,600°$ K, une valeur de W_D égale à 170 S, tandis que W_c est seulement de l'ordre de 22 S; à cette température la conductibilité du gaz se trouve donc augmentée de huit fois sa valeur, à 6 000° K elle serait augmentée de près de dix fois sa valeur normale.

1° *Décharge dans l'hydrogène à basse pression.* — En utilisant un long tube à vide rempli d'hydrogène humide à la pression correspondant à la hauteur d'une colonne de 0,5 mm de mercure, R.-W. Vood a constaté, en faisant passer un courant de 20 A, que de petits morceaux de fils de tungstène projetés dans la décharge devenaient incandescents, tandis qu'un fil de verre ou un fil de platine, dans les mêmes conditions, n'étaient pas sensiblement échauffés par la décharge. Il admet avec Langmuir que le tube se trouve rempli d'hydrogène à peu près pur et que son contact avec le catalyseur produit l'échauffement de ce dernier. Un fil de tungstène est chauffé au rouge, même s'il est monté dans un tube latéral de 5 mm de diamètre à 4 cm du tube principal, ce qui prouve que les atomes d'hydrogène peuvent être diffusés à une certaine distance de la décharge.

2° *Décharge dans l'hydrogène à la pression atmosphérique.* — Langmuir a déduit des expériences précédentes qu'il serait possible d'obtenir des concentrations plus élevées en produisant la décharge par des arcs puissants dans l'hydrogène à la pression atmosphérique; un jet d'hydrogène dirigé sur l'arc devait permettre, de plus, de chasser des électrodes l'hydrogène atomique formé.

Les arcs dans l'hydrogène sont d'ailleurs remarquables à cause de leur petite section et de leur chute de tension élevée. C'est ainsi qu'un arc de 10 A entre deux grosses électrodes de tungstène, distantes de 7 mm, forme une ligne rouge de 0,5 mm de diamètre dans laquelle la chute linéique de tension atteint 150 v : cm, soit 15 fois plus environ que dans l'azote ou l'argon.

La puissance perdue de 1 500 w par centimètre de longueur d'arc, qui en résulte ne peut être attribuée à la chaleur transmise par conductibilité et convection. Le calcul montre, en effet, que la première est absolument négligeable et la deuxième, de l'ordre de 60 w par centimètre carré.

En admettant que la température à la surface de l'arc soit de 10 000° K, le calcul montre que dans l'espace annulaire entre deux cylindres de 0,5 et 1,5 mm de diamètre, 1 500 w par centimètre peuvent être dissipés par conductibilité de l'hydrogène atomique. Du dernier cylindre jusqu'à la surface d'un nouveau cylindre de 6 mm de diamètre l'énergie peut être transportée par la diffusion de l'hydrogène atomique jusqu'à un point correspondant à une légère dissociation. Comme on ne peut admettre que toute cette énergie est transmise jusqu'à l'ampoule, il faut supposer qu'elle est transmise directement à la grosse électrode de tungstène dont le diamètre était de 15 mm, soit plus du double de la longueur de l'arc et on doit conclure que la production d'une quantité d'énergie par centimètre n'était possible que grâce à la proximité de cette masse importante du tungstène.

3. Remarques des auteurs sur la théorie de Langmuir. — Langmuir attribue l'augmentation de perte de chaleur du filament de tungstème — dans les conditions indiquées plus haut — à la dissociation des molécules d'hydrogène H^2 suivant la réaction

$$H^2 \rightleftarrows 2\,H \pm 100\,000 \text{ calories (gramme-degré)}.$$

Les auteurs trouvent plus logique d'attribuer l'absorption d'énergie à la dissociation des molécules qu'à la formation d'un état allotropique de l'hydrogène H^3 ou hyzone, par exemple. Dans ce dernier cas, en effet, d'après le principe du déplacement de l'équilibre de Le Chatelier, la réaction devrait être favorisée par une augmentation de la pression, ce qui est contraire aux résultats des observations.

G.-N. Lewis et M. Randall ont calculé à l'aide de la formule de Nernst le degré de dissociation de l'hydrogène moléculaire en hydrogène atomique. On peut, en effet, à l'aide de quelques mesures de la perte de chaleur d'un filament de tungstène chauffé dans l'hydrogène et, connaissant la chaleur de formation des molécules d'hydrogène, calculer la constante d'équilibre K pour toutes les températures possibles et en déduire le degré de dissociation x des molécules en atomes, ce qui donne les concentrations respectives c_1 et c_2 des uns et des autres.

Pour K, ils ont ainsi obtenu la valeur 2,6; Langmuir avait indiqué 2,56. On en déduit par exemple, à 4 000° K et pour une pression totale P égale à 1 atmosphère $x = 0{,}625$.

Au sujet de l'hypothèse de Langmuir pour la transmission de l'énergie par conductibilité de l'hydrogène atomique entre les points aux températures de 5 000 et 10 000° K, les

auteurs font remarquer que la dernière de ces températures n'est jamais atteinte puisque la température théorique de combustion de l'hydrogène atomique, qui a été calculée et qui correspond, d'ailleurs. à une combustion instantanée, sans déperdition de chaleur à l'extérieur, est seulement de 9 200°K. Emilio Damour, qui a repris cette question, a montré que cette température n'était jamais atteinte surtout pour les flammes utilisées pour la soudure qui se trouvent dans des conditions très défavorables.

Si l'on suppose que la température dans l'arc est de 4 500°K, la dissociation est sensiblement totale à 5 mm de l'arc, car la température y est d'environ 2 000°K, la fusion de l'acier étant relativement lente à cette distance. Sur une distance de 5 mm, le degré de dissociation varie donc de 1 à 0. Dès lors, il n'est pas nécessaire d'envisager la transmission de chaleur par conductibilité dans une région où il ne subsisterait que des atomes d'hydrogène, cette zone n'existant pas ou étant, tout ou moins, d'étendue extrêmement petite.

4. Comparaison de la flamme d'hydrogène atomique aux autres flammes. — Pour la flamme oxhydrique, la température théorique dans l'air est de 2 513°C et dans l'oxygène pur, de 6 752°C. Celle de la flamme oxyacétylénique dans l'air atteint 3 750°C et dans l'oxygène, 7 500°C. Mais, aux températures indiquées, les produits de la combustion sont dissociés et la chaleur totale de la réaction n'est pas disponible; aussi les températures pratiques de ces flammes sont-elles bien inférieures. On les a évaluées à 3 000°C pour le chalumeau oxyacétylénique et 1 950 à 2 000°C pour le chalumeau oxhydrique.

Si l'on calcule maintenant la température théorique de la flamme d'hydrogène atomique, on trouve 4 000°C. C'est donc cette flamme qui est la plus chaude de toutes celles que l'on connaît. Elle correspond à une concentration d'énergie dans un très faible volume, qui permet la fusion rapide des corps avec un rendement élevé. C'est ce fait qui a donné à Langmuir l'idée d'utiliser cette flamme pour la soudure.

5. Matériel d'étude des auteurs. — Afin de pouvoir étudier systématiquement la flamme de l'hydrogène atomique et son application à la soudure des métaux, les auteurs ont été amenés à établir de nombreux types de chalumeaux et un équipement électrique spécial pour maintenir la stabilité de l'arc.

L'un de ces types de chalumeaux représenté en figure 1 comporte deux électrodes de tungstène maintenues à l'inclinaison voulue par un porte-électrode spécial à l'extrémité duquel se trouve la buse par laquelle arrive le jet d'hydrogène. Le manche sert à la fois pour l'arrivée du courant et pour celle du gaz; il est muni d'un levier qui permet l'écartement des électrodes après l'amorçage.

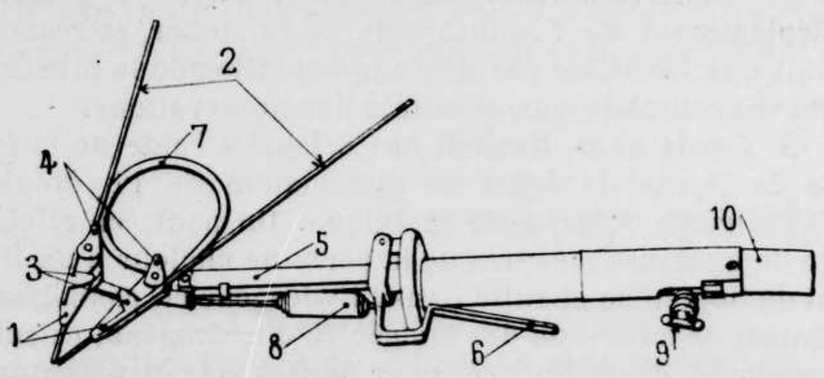


Fig. 1. — Vue du chalumeau à électrodes de tungstène.

La tension d'amorçage est voisine de 300 v, mais en fonctionnement normal la chute de tension varie entre 70 et 100 v. On maintient l'arc stable à l'aide d'une forte bobine d'inductance, qui peut être réglée au moyen d'un shunt magnétique manœuvré par levier, entre une position de repos correspondant au maximum de courant et une position limite obtenue par le déplacement d'une butée réglable. Ce dispositif a été conçu pour permettre de maintenir l'arc un temps relativement long au-dessus du métal en fusion avec un courant de l'ordre de 30 A et d'obtenir cependant l'amorçage de l'arc qui nécessite un courant beaucoup plus élevé. Des groupes de contacteurs et de relais, dont on trouve la description dans l'article qui nous occupe, rendent possible la mise en marche au moyen d'un simple bouton poussoir.

6. Caractéristiques de l'arc dans l'hydrogène atomique. — Alors que pour les arcs ordinaires entre charbons l'allumage se produit plus facilement dans l'air que dans l'hydrogène, le contraire se vérifie pour l'arc entre électrodes de tungstène. Dans l'air, l'arc est très instable et l'usure du tungstène est très rapide, au point que pour des arcs de faible longueur, l'arc se coupe de lui-même et il est pratiquement impossible de le maintenir. Après fonctionnement, le cratère est recouvert d'une poudre jaune de trioxyde de tungstène.

Dans l'hydrogène, au contraire, le métal ne fond pas et il n'y a pas production d'oxyde et l'arc est stable; il est d'ailleurs plus stable que l'arc dans l'hydrogène avec électrodes d'un autre métal.

La figure 2 reproduit les graphiques relevés pendant les expériences, pour la tension entre les électrodes et le courant en fonction de la pression de l'hydrogène et pour diverses valeurs de l'écartement des électrodes, montrent que la chute de tension dans l'arc croît très vite quand la pression du gaz augmente et que cet accroissement est d'autant plus rapide que les électrodes sont plus éloignées. Il arrive cependant un moment où l'arc se met à ronfler fortement en devenant instable et finit par se rompre.

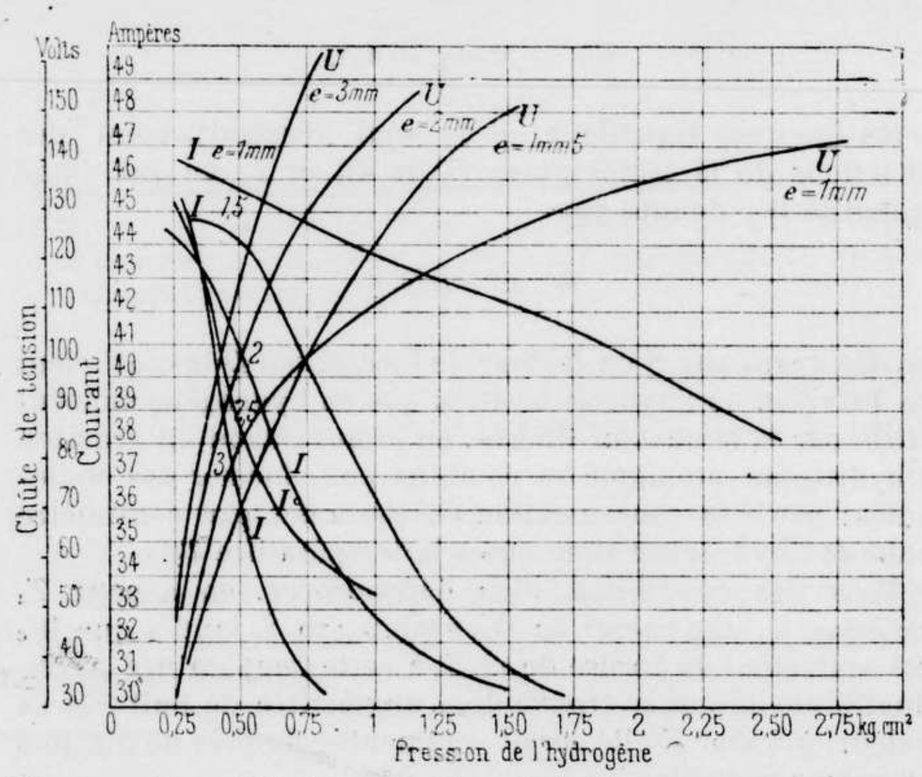


Fig. 2. — Caractéristiques de l'arc dans l'hydrogène atomique : *U*, courbes des variations de la chute de tension pour différents écartements des électrodes en fonction de la pression de l'hydrogène; *I*, courbes des variations de courant dans les mêmes conditions.

Le courant suit la loi inverse et on constate que la stabilité de l'arc ne se vérifie plus pour une intensité de courant inférieure à 30 A.

Les expériences concernant la stabilité de l'arc ont été exécutées pour des arcs de 22 à 45 A avec une pression d'hydrogène de 0,5 à 2 kg : cm² et un écartement des électrodes de 1 à 4 mm ; toutefois, on a essayé un arc à 68 A qui a pu être maintenu parfaitement stable, et un arc de 12 A qui a pu être réalisé en abaissant la pression du gaz à 0,250 kg : cm². L'écartement des électrodes était alors de 2 mm et la chute de tension, de 180 V.

Des expériences analogues ont été exécutées avec des arcs entre électrodes de tungstène alimentés en courant alternatif. Les résultats en sont donnés sous forme de tableaux, dans l'article original. Signalons qu'on a constaté la déformation de la courbe de tension par la production d'une pointe très nette correspondant au réallumage de l'arc, phénomène qui a été mis en évidence par M. A. Blondel pour les arcs en courant alternatif entre charbons.

7. Électrodes. — Les auteurs ont étudié l'usure des électrodes en fonction des différentes caractéristiques de l'arc. A cet effet, ils ont procédé à des séries d'expériences de même durée dans diverses conditions de fonctionnement.

En mesurant la perte de poids p en grammes par heure pour des courants croissants, on remarque que pour une pression d'hydrogène maintenue à 0,5 kg : cm², les courbes ont sensiblement l'allure d'une parabole avec $p^2 = 2\,k\,I$.

En prenant la moyenne de plusieurs essais, on a trouvé pour la valeur de k, pour un type donné d'électrodes, 0,0415.

Pour un arc stable, ne produisant pas de projections de métal, les mesures effectuées sur l'une et l'autre des deux électrodes sont absolument comparables ; la loi est encore vérifiée si on utilise deux électrodes de composition un peu différente.

Si au lieu d'utiliser des électrodes en tungstène pur, on utilise comme métal un peu de fer et une faible quantité de silicium, le coefficient k prend des valeurs différentes (on a trouvé, par exemple, pour une autre composition $k = 0{,}071$) mais cette valeur est constante pour une composition donnée.

Les auteurs ont constaté, d'autre part, que l'usure du métal variait très peu avec la densité du courant ; elle passait, par exemple, de 2,68 à 3 g par heure pour une densité de courant variant entre 5,43 et 23,4 A : cm², c'est-à dire devenant environ 4 fois plus grande.

Les électrodes de tungstène sont assez fragiles. Celles de 1,5 mm de diamètre le sont moins que celles de 3 mm en raison de l'écrouissage qui est plus prononcé. La fragilité ne paraît cependant pas être fonction de la grosseur du grain de métal, car les auteurs n'ont pas constaté de grande différence à ce point de vue entre les deux types d'électrodes étudiés qui présentent pourtant une différence très notable en ce qui concerne la grosseur du grain.

8. Substitution d'un autre gaz a l'hydrogène. — Les auteurs ont d'abord essayé les vapeurs d'alcool qui sont complètement décomposées vers 700°C en hydrogène et oxyde de carbone, en donnant environ 1 680 litres de mélange gazeux pour un litre d'alcool. Ils ont utilisé un appareil d'évaporation du méthanol, comportant un réservoir métallique chauffé au bain-marie et un serpentin de surchauffe, les deux appareils étant chauffés par des résistances électriques.

La tension nécessaire pour maintenir l'arc dans la vapeur de méthanol est moins élevée que celle qui correspond à l'utilisation de l'hydrogène pur. En effet, une tension de 45 à 60 V suffit pour maintenir un arc stable avec un courant de 40 à 45 A ; il faudrait de 80 à 100 V avec l'hydrogène.

L'arc s'amorce sans difficulté, mais la flamme en forme de papillon, due à la combustion du gaz, est très différente et s'établit moins bien que dans l'hydrogène ; cette flamme est aussi plus petite et moins régulière ; toutefois elle se stabilise et change d'aspect lorsqu'elle est amenée au contact d'une plaque d'acier.

L'usure des électrodes est plus forte ; l'extrémité placée dans l'arc est portée à l'ébullition et paraît émettre des vapeurs. Après refroidissement, elles sont noires et boursouflées à l'emplacement du cratère de l'arc. Pour un arc de 45 A, la perte de poids des électrodes est de l'ordre de 3,5 à 4 g par heure pour chacune d'elles, alors qu'elle n'atteint que 2,7 g par heure pour l'arc de l'hydrogène.

D'autres essais ont été exécutés en remplaçant l'hydrogène par le gaz ammoniac, en utilisant celui qui est livré dans le commerce en bouteilles d'acier.

La flamme est plus courte que dans l'hydrogène pur ; elle est cependant de même couleur et ceci s'explique très bien puisque l'hydrogène est le seul élément de combustion.

L'arc s'amorce facilement et la tension nécessaire en régime normal à 40 A est de 35 à 50 V. Il est cependant beaucoup moins stable qu'avec l'hydrogène. D'autre part, l'usure des électrodes est aussi plus rapide et il se produit des projections de métal pendant le fonctionnement.

Dans l'ensemble, l'arc dans le gaz ammoniac est donc moins avantageux que celui qui est produit dans l'hydrogène pur. De plus, il survient, en pratique, deux inconvénients graves qu'il convient de mentionner : d'une part, la dissociation n'étant pas complète, du gaz ammoniac s'échappe de la flamme et l'atmosphère environnant le soudeur devient assez rapidement irrespirable ; d'autre part, la présence de l'azote est un inconvénient sérieux, car lorsqu'on soude de l'acier, ce gaz produit des nitrures qui ont pour effet de rendre le métal très fragile. Pour ces deux raisons on ne peut songer, pratiquement, à utiliser le gaz ammoniac pour cet usage, bien que les auteurs soient parvenus à diminuer très fortement la proportion de gaz non dissocié en utilisant un serpentin chauffé à 1 000°C, environ, dans un four électrique. — B. E.

Le fonctionnement des parafoudres à thyrite sous l'effet d'une onde de surtension propagée dans un circuit quelconque (1).

1. Introduction. — Un parafoudre peut être considéré comme une résistance ayant la propriété de décroître quand la tension à ses bornes augmente. Si donc on considère un circuit (fig. 1) dans lequel une onde se propage le long d'une ligne d'impédance Z_1 (pour la surtension) approchant un parafoudre et le dépassant le long d'une ligne d'impédance Z_2, les équations générales d'un tel circuit sont

$$E_A = E_2 = E_1 + E_r, \qquad (1)$$

$$I_A + I_2 = I_A + \frac{E_A}{Z_2} = I_1 - I_r. \qquad (2)$$

En multipliant les membres de l'équation (2) par Z_1 on obtient

$$Z_1 I_A + \frac{Z_1}{Z_2} E_A = E_1 - E_r, \qquad (3)$$

et en ajoutant (1) et (3)

$$E_A \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right) + Z_1 I_A = 2 E_1. \qquad (4)$$

(1) K.-B. Mc Eachron et H.-G. Brinton. *General Electric Review*, juin 1930, t. XXXIII, p. 350-357, 3 000 mots, 13 figures.

Dans ces relations E_A et I_A désignent la tension aux bornes et le courant dans le parafoudre ; E_r et I_r, la tension et le courant réfléchis ; E_2 et I_2, la tension et le courant de l'onde après le parafoudre ; E_1, I_1, la tension et le courant de l'onde approchant du parafoudre.

L'équation (4) est une relation générale entre la tension aux bornes du parafoudre et la tension de l'onde propagée.

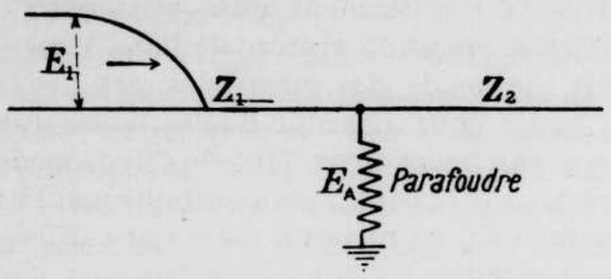


Fig. 1. — Schéma d'un parafoudre connecté à une ligne parcourue par une onde de surtension de valeur de crête égale à E_1.

Dans le cas particulier où le parafoudre est en bout de ligne, on a $Z_2 = \infty$ et

$$E_A + Z_1 I_A = 2 E_1. \qquad (5)$$

Si $Z_2 = Z_1$, alors,

$$2 E_A + Z_1 I_A = 2 E_1. \qquad (6)$$

Si enfin il n'y a pas de parafoudre, $I_A = 0$ et

$$E_A = E_2 = \frac{2 E_1}{1 + \frac{Z_1}{Z_2}}. \qquad (7)$$

Lorsque trois conducteurs sont parallèles et reliés chacun à un parafoudre comme c'est le cas pour une ligne triphasée, l'impédance de surtension Z_1 de chaque conducteur est plus grande que s'il était seul. Cet accroissement réduit le courant nécessaire dans chaque pôle de parafoudre pour provoquer la même réduction de tension de l'onde y arrivant.

2. Le parafoudre a thyrite. — Le parafoudre à thyrite se prête particulièrement bien au calcul, car sa caractéristique de tension en fonction du courant est fixe et bien déterminée dans les limites d'utilisation, quelle que soit la fréquence et même pour des ondes atteignant leur crête en une durée de 1 microseconde ou moins. Il est constitué d'éléments construits chacun pour 11,5 kv. Chaque élément est un parafoudre complet en lui-même, comportant des intervalles d'air avec 11 disques de thyrite de 6 pouces de diamètre et de 0,75 pouce d'épaisseur (15,2 cm × 1,9 cm).

Pour la fréquence normale, la répartition de la tension doit être aussi uniforme que possible entre tous les disques et intervalles d'air, mais pour une onde à front raide il est nécessaire que la plus grande chute de tension se produise aux premiers intervalles d'air de manière que, de proche en proche, l'arc s'amorçant à travers tous les intervalles, le fonctionnement de l'appareil se produise. Le schéma de la figure 2 montre la réalisation des conditions précitées. Une résistance très grande shunte chaque paire d'intervalles d'air, donnant ainsi une répartition correcte de la tension à la fréquence normale. Des capacités sont connectées entre la terre et un disque sur deux. Pour les ondes à front raide, le courant de capacité devient très important concentrant presque toute la différence de potentiel à la terre dans les premiers intervalles d'air vers l'extrémité connectée à la ligne. Une fois l'arc amorcé, le courant croît très rapidement si la tension s'élève, limitant l'accroissement de celle-ci.

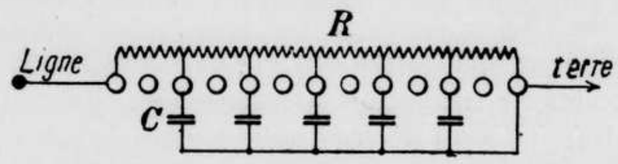


Fig. 2. — Schéma d'un élément de parafoudre à thyrite.

Inversement, grâce aux propriétés de la matière utilisée, dès que la tension est tombée au-dessous d'une certaine valeur le courant est interrompu. Quand, par exemple, la valeur de tension est descendue à la moitié de sa valeur de crête la valeur de l'intensité du courant s'abaisse au douzième de celle de crête.

3. Prédétermination des caractéristiques de fonctionnement des parafoudres a thyrite. — Le cas le plus simple est celui d'un parafoudre situé en bout de ligne ($Z_2 = 0$). Ce cas est régi par l'équation (5) et, si on connaît la valeur de Z_1 et la relation entre E_A et I_A, il est possible de déterminer la valeur de E_A correspondant à chaque valeur de E_1. La figure 3 représente la courbe exprimant, pour un parafoudre donné, la relation entre E_A et I_A.

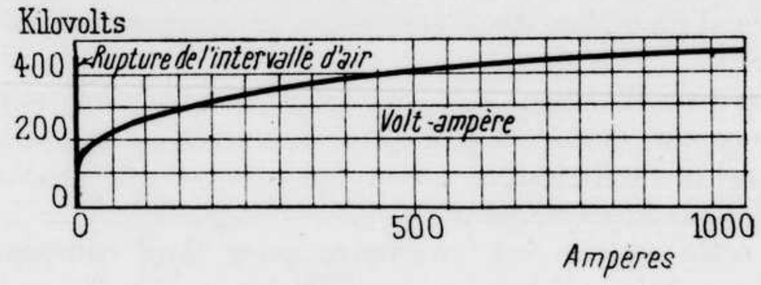


Fig. 3. — Caractéristique d'un parafoudre à thyrite.

Dans le cas plus général d'une impédance Z_2 différente de zéro, la connaissance de Z_2 permet de poser

$$Z_2 = n Z_1,$$

et au lieu de l'équation (5) on doit se baser sur la relation (4)

$$\left(1 - \frac{1}{n}\right) E_A + Z_1 I_A = 2 E_1. \qquad (8)$$

Enfin, certains dispositifs de protection comportent une capacité C en parallèle avec un parafoudre. L'auteur établit dans ce cas la relation suivante

$$Z_1 C \frac{dE_A}{dt} + \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right) E_A + Z_1 I_A = 2 E_1. \qquad (9)$$

Les valeurs de I_A sont déterminées par une courbe analogue à celle de la figure 3, pour le parafoudre donné. La valeur de $\frac{dE_A}{dt}$ peut être déduite graphiquement de la courbe de la tension E_A en fonction du temps pour une onde de forme donnée. — M. R

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société des Forces motrices de la Vienne.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 17 JUIN 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société au capital de 51 millions de francs, dont le siège social est à Paris, 10, rue Vézelay, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Durant cet exercice, l'importance des ventes d'énergie électrique a considérablement augmenté, entraînant un accroissement de la consommation des réseaux de plus de 40 pour 100 par rapport à l'exercice précédent.

Les recettes totales de l'exploitation et les recettes diverses se sont élevées à 25 762 167,98 fr contre 18 258 066,81 fr en 1928 (1). L'augmentation de 42 pour 100 d'un exercice à l'autre provient, à concurrence de 25 pour 100, de l'augmentation de la consommation des parties du réseau déjà exploitées en 1928 et, pour le surplus soit environ 17 pour 100, des extensions nouvelles mises en service à la fin de 1928 ou au début de 1929.

Les dépenses d'exploitation ont passé d'un exercice à l'autre de 7 671 738,28 fr à 8 996 916,57 fr, de telle sorte que le produit brut de l'exploitation s'est élevé finalement à 16 765 251,41 fr en 1929, contre 10 586 327,53 fr en 1928.

Il y a tout lieu d'espérer que les exercices ultérieurs marqueront une nouvelle progression de ces résultats.

L'exercice 1929 a été marqué par un régime hydraulique nettement défavorable : une période tout à fait anormale de basses eaux s'est produite au printemps et l'étiage ordinaire d'été qui a suivi a été particulièrement accentué.

De ce chef, la production des usines hydrauliques de la société a été inférieure d'environ une dizaine de millions de kilowatts-heures par rapport à ce qu'aurait été cette production en année normale et les appoints d'origine thermique rendus nécessaires ont été relativement importants. Ils ont été en augmentation de plus de 66 pour 100 par rapport à la production thermique en 1928 et ont atteint une proportion de 34 pour 100 de la production totale.

Ce fait est la cause principale de l'augmentation des dépenses d'exploitation.

Malgré ces circonstances peu favorables, les résultats de l'exercice sont, en forte progression ; ils permettent de porter à 15 pour 100 le dividende, fixé à 12 pour 100 durant les trois exercices précédents.

Le fonctionnement de toutes les installations, soit de production, soit de distribution, n'a laissé en rien à désirer et, en ce qui concerne les réseaux, les perfectionnements qui leur ont été apportés, ont produit les effets attendus et la qualité des fournitures s'est encore améliorée.

Une fois bien mis au point, les groupes électrogènes de l'usine de Jousseau, entrés en service au début de l'exercice, ont fonctionné d'une manière irréprochable et ont permis à cette usine de faire un service excellent. Il en a été de même pour l'usine de La Roche, à l'Isle-Jourdain.

En ce qui concerne l'usine hydraulique de Chardes, il a été procédé, durant l'exercice écoulé, par les soins des fournisseurs de la société, à diverses réfections partielles des alternateurs, en vue de supprimer certaines défectuosités constatées depuis leur entrée en service.

Il a été poursuivi avec toute l'activité possible les travaux d'aménagement des trois usines hydrauliques du Taurion.

Ceux concernant la première de ces usines, celle de Saint-Marc (puissance 18 000 ch), s'achèvent à l'heure actuelle et on compte commencer d'ici peu de jours la mise en eau partielle du barrage qui doit l'alimenter. Toutefois, par suite de l'époque de basses eaux pendant laquelle il devra être procédé à cette opération, il n'est guère possible que cette usine puisse donner un appoint effectif avant le début de l'automne prochain.

La situation de l'usine de Saint-Marc, au voisinage immédiat du centre important de Limoges, est particulièrement intéressante ; elle la désigne tout spécialement pour fournir à cette région, dans les meilleures conditions possibles, toute l'énergie électrique d'appoint qui lui est nécessaire et dont une fraction notable lui est déjà livrée, à l'heure actuelle, par les usines de la Vienne, au moyen de l'artère à haute tension allant de l'Isle-Jourdain à Limoges.

Les travaux de la deuxième usine, dite de Chatelus (puissance 12 000 ch), située un peu en amont, à la limite des départements de la Creuse et de la Haute-Vienne, ont été poussés avec beaucoup d'activité et sont actuellement suffisamment avancés pour permettre d'espérer sa mise en service effective durant le cours de l'hiver prochain, c'est-à-dire peu de mois après celle de l'usine de Saint-Marc.

En ce qui concerne la troisième usine, dite de la Châtre (puissance 9 000 ch), située entre les deux précédentes, certaines modifications apportées à son aménagement ont nécessité des formalités administratives nouvelles, actuellement en cours, lesquelles ont retardé quelque peu le commencement des travaux. A l'heure actuelle, ceux-ci sont engagés : ils permettent d'utiliser la main-d'œuvre rendue progressivement disponible par l'achèvement de l'usine de Saint-Marc et, sauf incident, on peut espérer leur terminaison au cours du premier trimestre de l'exercice 1932.

Parallèlement à ces aménagements nouveaux, il a été procédé, durant l'exercice 1929, aux travaux d'extension des réseaux.

La nouvelle ligne à 60 000 v Niort-La Rochelle et le nouveau poste de La Rochelle ont été terminés et mis en service sans incident.

La société a poussé avec activité les travaux d'établissement de la grande artère l'Isle-Jourdain-Cholet, destinée principalement à relier les régions de Nantes et de Tours aux usines hydrauliques de la Vienne et du Taurion, mais qui pourra aussi, dans la suite, coopérer efficacement à l'alimentation de son réseau actuel. Ces travaux sont main-

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 7 décembre 1929, t. XXVI, p. 935.

tenant à peu près achevés, aussi bien dans la partie de cette artère appartenant en propre à la société que dans celle de la Société de Transport d'Energie de l'Ouest, dont l'exécution lui avait été confiée ; il en est de même pour la ligne Cholet-Saumur destinée à établir la liaison du réseau de la Compagnie du Gaz pour la France et l'Étranger, en Maine-et-Loire et Indre-et-Loire, avec celui de la Société nantaise d'Eclairage et de Force par l'Electricité, et avec la Société des Forces motrices de la Vienne.

Tout cet ensemble important va entrer en service d'ici peu ; il établira entre les usines thermiques de Nantes et de Tours, d'une part, et les usines hydrauliques de la société, d'autre part, les interconnexions nécessaires aux échanges d'énergie prévus entre ces usines et donnera une ossature solide à la distribution de l'énergie électrique dans toute cette partie de la France.

Pour permettre de donner immédiatement aux interconnexions ainsi réalisées toute l'ampleur et la puissance désirables, la société a décidé, d'accord avec la Société de Transport d'Energie de l'Ouest, de porter, dès l'hiver prochain, à 110000 v la tension de fonctionnement de l'artère Saint-Marc-l'Isle-Jourdain-Cholet et procède, en conséquence, dès maintenant, en ces trois points, à l'équipement de grands postes de transformation 110 000/60 000 v.

Une partie importante de ces travaux s'effectue par utilisation des prestations en nature, en conformité des conventions qui ont été conclues, à cet effet, dès 1927, avec le Ministère des Finances.

Durant l'exercice écoulé, la société a passé, notamment dans la Charente-Inférieure, différents contrats de fournitures avec des industries importantes, parmi lesquelles on peut citer la Compagnie royale asturienne des Mines, la Compagnie des Produits chimiques de Saint-Gobain et la Société des Ciments Lavocat ; ces contrats, dont l'exécution va commencer prochainement, entraînent divers remaniements et renforcements, actuellement en cours, des réseaux à 60000 et 15 000 v.

La société a procédé, à la fin de l'exercice 1929, avec le concours de ses banquiers, à une nouvelle émission de 50 millions de francs d'obligations 5 pour 100. Le produit de cette émission a été en grande partie affecté au remboursement des obligations 6 pour 100, 2e série, et des bons décennaux 8 pour 100. Après ces remboursements, la dette obligataire ne comportera plus que l'émission de 50 millions de francs 5,50 pour 100, faite fin 1928 et celle de 50 millions de francs 5 pour 100, faite fin 1929.

Ainsi qu'il a été indiqué ci-dessus, le produit de l'exploitation, représentant la différence entre les recettes et les dépenses, s'est élevé, en 1929, à 16 765 251,41 fr, en augmentation de 6 178 923,88 fr sur l'exercice précédent.

Ce produit doit être augmenté : du solde du compte intérêts et divers, 1 870 358,14 fr ; du bénéfice du portefeuille, 194 536,70 fr ; du report à nouveau de l'exercice précédent, 453 498,48 fr. Le total s'élève donc à 19 283 644,73 fr.

Il y a lieu de déduire de ce montant : les frais généraux d'administration, 1 053 668,39 fr ; l'abonnement au timbre des actions et parts, 104 574,24 fr ; les intérêts servis sur obligations et bons, ainsi que les impôts correspondants à la charge de la société, 5 689 920,77 fr.

Le produit brut de l'exercice est donc de 12 435 481,33 fr.

Il est effectué les amortissements suivants, indépendamment des sommes déjà portées en amortissement qui correspondent aux subventions reçues des collectivités : amortissement sur frais d'émission et prime de remboursement des obligations et bons, 239 742,40 fr ; amortissement sur mobilier et outillage, 144 189,15 fr ; amortissement sur installation rue Vézelay, 75 798,04 fr ; allocation aux fonds d'amortissement et de renouvellement, 2 000 000 fr.

Le bénéfice net disponible ressort ainsi à 9 975 751,74 fr.

La répartition est effectuée comme il suit : à la réserve légale, 476 112,66 fr ; aux actions O, premier dividende de 6 pour 100, 2 775 000 fr ; aux actions P, premier dividende de 6 pour 100, 71 250 fr ; au conseil d'administration, 632 500 fr ; aux actions O, deuxième dividende de 9 pour 100, 4 162 500 fr ; aux actions P, le quart du deuxième dividende attribué aux actions O, soit 2,25 pour 100, 106 875 fr ; aux parts de fondateur, un tiers de 4 269 375 fr, montant total du deuxième dividende des actions O et P, 1 423 125 fr.

Le solde s'élevant à 328 389,08 fr est reporté à nouveau.

Le dividende, tant celui des actions O et P, que celui des parts de fondateur, est mis en paiement le 1er septembre 1930, sous déduction des impôts et, en ce qui concerne les actions O et P, sous déduction de l'acompte de 15 fr brut pour les actions O et de 3,75 fr brut pour les actions P, mis en paiement le 15 mars dernier, en échange des coupons n° 23 pour les actions O et n° 1 pour les actions P.

Le complément du dividence des actions sera payé : pour les actions O, à raison de 22,50 fr brut par action, contre remise du coupon 24 ; pour les actions P, à raison de 5,625 fr brut par action après émargement du coupon 2.

Le dividende des dixièmes de parts de fondateur, d'un montant brut de 49,414 fr sera payé contre remise du coupon 13.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Apports	1 600 000 »
Depenses d'installations :	
Installations en service	127 044 334,66
Travaux en cours	55 030 465,42
Mobilier et outillage	576 756,55
Installation rue Vézelay	75 000 »
Portefeuille	16 521 298,10
Approvisionnements	2 247 331,86
Caisses et banques	26 940 177,13
Débiteurs :	
Actionnaires	3 562 500 »
Divers	8 055 860,71
Frais d'émission et prime de remboursement des obligations, bons, intérêts et frais à répartir	13 596 038,25
Comptes d'ordre	341 192,19
	255 590 954,87

Passif.

	fr
Capital (185 000 actions O et 19 000 actions P de 250 fr)	51 000 000 »
18 719 obligations de 500 fr, 6 pour 100, 2e série	9 359 500 »
15 734 bons de 500 fr, 8 pour 100	7 867 000 »
49 640 obligations de 1 000 fr, 5,50 pour 100	49 640 000 »
50 000 obligations de 1 000 fr, 5 pour 100	50 000 000 »
Réserve légale	1 345 457,23
Prime d'émission des actions	1 970 172,80
Subventions à fonds perdus versées par les collectivités	12 562 003,93
Fonds d'amortissement et de renouvellement :	
Antérieur au 1er janvier 1929	4 689 500 »
Dotation peur l'exercice 1929	2 000 000 »
Provisions diverses	1 145 398,11
Créditeurs :	
Compte prestations et engagements à long terme	35 740 391,76
Fournisseurs, entrepreneurs et divers	13 838 801,14
Intérêts courus sur obligations et bons	1 239 012,73
Coupons échus et obligations restant à rembourser	2 993 533 »
Comptes d'ordre	224 432,43
Profits et pertes	9 975 751,74
	255 590 954,87

SECTION DE LÉGISLATION

Commentaire pratique de la loi du 2 mai 1930 sur la réorganisation de la protection des monuments naturels et des sites

Une certaine émotion s'est manifestée dans le milieu des électriciens et surtout des hydrauliciens, quand ils ont appris, par le « Journal officiel », qu'une réorganisation de la protection des sites allait être tentée. Sans doute il n'est jamais agréable de lire un texte d'où pourrait naître une sujétion nouvelle. Il nous a paru cependant que la loi récente doit être interprétée avec l'idée de voir se produire une période de conciliation de tous les intérêts respectables. Le commentaire succinct faisant l'objet de l'article qui suit ne paraît donc pas inutile.

I. **Objet de la loi**. — La loi récente qui a paru au « Journal officiel » du 4 mai 1930, page 5002, porte un titre un peu long ; il est nécessaire de le transcrire en entier et de rechercher ensuite la définition exacte de chacune des expressions qu'il contient : « Loi ayant pour objet de réorganiser la protection des monuments naturels et des sites de caractère artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque ».

Notons tout d'abord que nous assistons à une tentative de « réorganisation ».

En effet, une loi du 21 avril 1906 avait essayé d'établir la protection des monuments naturels et des sites : on arrive aujourd'hui à proclamer que, si elle n'a pas donné un résultat appréciable, c'est d'abord parce qu'elle a été rédigée avec l'espoir que les budgets communaux supporteraient facilement les frais des expropriations rendues nécessaires pour assurer à une commune la conservation « d'un joli point de vue » ; ensuite, on avait compté sur les dispositions généreuses des propriétaires qui devaient réclamer le classement de certains sites et s'interdire bénévolement, dans un intérêt général, toute modification sans l'autorisation préalable du gouvernement. Sur ce dernier point, la désillusion du législateur a été grande : le rapporteur de la loi au Sénat, M. Humblot, constate avec une certaine aigreur (1) que de 1906 à 1929 le classement total des monuments naturels ou des sites n'a pas dépassé le chiffre de 459 qui comprend 119 sites appartenant à des particuliers.

Nous sommes avertis, par conséquent, que la « tentative de réorganisation » se traduira par une réaction contre la propriété privée et nous examinerons plus loin les moyens indiqués par la loi pour « réorganiser ».

L'habitude de reproduire comme un cliché la phrase « protection des monuments naturels et des sites pittoresques » ne doit pas nous faire perdre de vue la définition de chacun de ces termes. Elle a été donnée dans les travaux préparatoires de la loi de 1906 (voir au *Journal officiel* du 29 mai 1906 le rapport du sénateur Faure). On appelle un « monument naturel » un point très limité qu'il est facile d'individualiser, grâce à la beauté ou à l'étrangeté de son aspect, par exemple : un rocher, une cascade, une source. On réserve, au contraire, la qualification de « site » à un paysage, par conséquent à un ensemble de plus grande étendue qui sera artistique ou pittoresque, s'il produit dans notre esprit, par l'harmonie ou le contraste de ses lignes ou l'effet de ses couleurs, une impression de beauté et le désir de le conserver intégralement dans notre mémoire tel que nous l'avons aperçu (1).

Un site aura un caractère scientifique quand il contiendra des richesses appartenant à l'un des trois règnes de la nature, par exemple une flore ou une faune devenant rare parce qu'elle est en voie de disparaître ou un gisement précieux ; il aura un caractère historique, quand le souvenir d'un fait important, réel ou légendaire, paraît s'être fixé dans la région envisagée.

Nous groupons, pour plus de clarté, les trente articles de la loi en différents chapitres, et nous nous occupons tout d'abord des monuments et des sites constituant des propriétés privées.

II. **Inventaire des monuments et des sites. Effet juridique de cet inventaire**. — Dans chaque département, par les soins d'une commission compre-

(1) Voir le rapport de M. Humblot « Documents parlementaires, Sénat », n° 695, annexe à la séance du 12 décembre 1929.

(1) Nous considérons par exemple comme monument naturel, dans la Meuse, les sept roches de Saint-Mihiel et, dans l'Isère, le Rocher de Cornillon et même le Lac Bleu des Rousses, à cause de son cadre très restreint, et nous disons : le *site* du massif du Pelvoux dans les Hautes-Alpes, le *site* du gave de Cauterets dans les Hautes-Pyrénées.

nant une vingtaine de membres environ, nommés pour quatre ans (le préfet comme président de droit, l'ingénieur des Ponts et Chaussées, un délégué des industriels aménageant ou utilisant l'énergie hydraulique, etc.), un inventaire est établi pour grouper les monuments naturels et les sites dont la conservation ou la préservation présente, au point de vue artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque, un intérêt général (1).

L'inscription sur cette liste est prononcée définitivement par un arrêté du ministre des Beaux-Arts et notifiée par le préfet aux propriétaires du monument naturel ou du site (article 4 de la loi).

On voudra bien ne pas confondre cet arrêté d'approbation de la liste avec un autre arrêté ministériel qui présente une bien plus grande importance et s'appelle l'arrêté de classement que nous étudierons plus loin.

Mais, néanmoins, l'approbation ministérielle de la liste des propriétés inscrites n'est point dépourvue d'effet et elle pourrait même pratiquement être appelée l'antichambre du classement. Elle entraîne pour le propriétaire l'obligation de ne pas procéder aux travaux autres que ceux d'exploitation courante, en ce qui concerne les fonds ruraux, et d'entretien normal, en ce qui concerne les constructions, sans avoir avisé deux mois à l'avance l'administration préfectorale de son intention (article 4 in fine). Cette obligation, dite du préavis, n'est assortie d'aucune indemnité ; car l'article 8 qui traite de la question de l'indemnité ne l'envisage qu'après la notification de l'arrêté ministériel de classement.

La sanction d'une modification sans préavis peut consister en une amende de 50 à 20 000 fr (article 21).

Ce serait toutefois une erreur de croire que cette inscription sur la liste, bien que le législateur paraisse la souhaiter, est une formalité nécessaire pour rendre le classement légal. L'article 5 prend soin d'ajouter en effet : « les monuments naturels et les sites inscrits *ou non* sur la liste dressée par la commission départementale peuvent être classés d'après les principes suivants ».

III. **Le classement : Autorités susceptibles de le prononcer.** — Il appartient à l'une ou l'autre de ces autorités de prononcer le classement : le ministre des Beaux-Arts, si le propriétaire a donné son consentement ; dans le cas contraire, le Président de la République statuant par décret, le Conseil d'Etat entendu (article 8).

a) Le législateur a pensé que l'arrêté ministériel est suffisant, dès que le propriétaire donne son consentement, et il a imposé une seule formalité préalable à cette formalité : l'avis de la commission départementale. L'intéressé, avant de donner son consentement, aura en effet discuté et admis les conditions du classement qui seront reproduites dans l'arrêté ministériel. La loi ne nous donne aucune explication sur la teneur de ces conditions ; elle prévoit seulement (article 8) que des discussions peuvent surgir sur le libellé de l'arrêté ; elle attribue un pouvoir d'interprétation au ministre des Beaux-Arts et permet le recours contentieux au Conseil d'Etat. L'esprit de la loi étant de ne jamais imposer au propriétaire d'un site, un sacrifice qui ne serait pas rigoureusement commandé par l'intérêt général, le recours contentieux au Conseil d'Etat serait ouvert si l'interprétation du ministre dépassait les limites permises.

b) Le décret est signé après l'intervention du Conseil d'Etat et l'avis d'une commission supérieure : cette commission instituée au Ministère des Beaux-Arts sous la présidence du ministre comprend divers parlementaires, un conseiller à la cour de Cassation, le directeur des Forces hydrauliques, le directeur de l'Office national du Tourisme, un représentant de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques (article 3) ; elle a pour but principal de donner son avis sur toutes les questions que le ministre des Beaux-Arts renvoie à son examen et ledit avis est prescrit à peine de nullité quand un classement par décret est en jeu ; elle peut même être saisie directement d'une demande de classement et la transmettre au ministre (article 5).

c) Dans un cas très spécial, (relatif à une question d'hydraulique) un décret est encore nécessaire. L'article 8 (paragraphe 4 et suivants) impose, comme mesure préalable au classement d'un lac ou d'un cours d'eau pouvant produire une énergie électrique permanente d'au moins 50 kw, l'avis des ministres intéressés, c'est-à-dire du ministre des Travaux publics pour tous les cours d'eau et l'avis du ministre de l'Agriculture pour les rivières non navigables. Si les ministres intéressés ne sont pas d'accord, mais dans ce cas seulement, le classement ne pourra pas être prononcé par le ministre des Beaux-Arts et un décret sera nécessaire.

IV. **Effets du classement.** — La loi sur ce point est très complexe ; car les effets du classement sur la propriété privée sont multiples ; il importe même de distinguer diverses périodes.

a) *Avant le classement*, si étrange que cela puisse paraître, un premier effet se fait sentir ; il est indiqué dans l'article 9 : « A compter du jour ou l'Administration des Beaux-Arts notifie au propriétaire d'un monument naturel ou d'un site, *son intention* d'en poursuivre le classement, le propriétaire est tenu de n'apporter aucune modification à l'état des lieux ou à leur aspect pendant un délai de six mois, sauf autorisation spéciale du ministre des Beaux-Arts et sous réserve de l'exploitation courante des fonds ruraux et de l'entretien normal des constructions ».

Cette sujétion n'est pas la même que celle qui est

(1) La commission départementale n'a point pour unique fonction d'établir la liste indiquée : son rôle consiste également à donner son avis, quand elle est consultée par le ministre qui peut même ne pas attendre ledit avis, s'il est trop long à intervenir et, après avoir pris celui de la commission supérieure de classement, procéder à cette formalité (article 5). Elle élit une commission permanente dont la composition et le fonctionnement seront déterminés par un règlement d'administration publique (articles 2 et 27).

prévue par l'article 4, pour les propriétaires inscrits sur la liste établie par la commission départementale qui peuvent faire des travaux de modification, à la condition d'avoir donné un préavis de deux mois après lequel ils reprennent toute leur liberté.

L'article 9 suppose qu'indépendamment même de toute inscription, le ministre use de son droit de procéder au classement : il notifie alors sa simple intention au propriétaire qui, dès ce moment, et pendant six mois est déchu du droit de modifier son immeuble, s'il n'a pas obtenu une permission spéciale du ministre des Beaux-Arts. Pendant cette période (limitée à six mois, pour ne pas imposer au propriétaire une trop longue incertitude), aucun travail de modification à l'état ou à l'aspect des lieux n'est permis même en donnant préavis, et il ne doit être commencé qu'après la délivrance de la permission ministérielle.

Après six mois passés, sans qu'une suite ait été donnée à l'« intention ministérielle », le propriétaire reprend sa liberté d'action.

Pratiquement, il est probable que les faits se réaliseront ainsi : le propriétaire, voulant exécuter des travaux de modification, donnera le préavis prévu par l'article 4; il appellera ainsi fatalement sur lui les regards de l'Administration qui s'empressera de lui notifier son intention de procéder au classement. Pendant six mois, le propriétaire ne pourra exécuter ses travaux; il ne reprendra sa liberté d'action qu'après l'expiration de ce nouveau délai si le classement officiel n'est pas intervenu.

b) *Après le classement*, l'arrêté produit une sorte de servitude d'intérêt général qui consiste dans l'interdiction de détruire ou de modifier l'état des lieux ou leur aspect, sauf autorisation spéciale donnée par le ministre des Beaux-Arts après avis des commissions départementales et supérieures (article 12). L'immeuble classé peut, par conséquent, être exploité (cultivé et entretenu comme il l'a toujours été); il n'est même pas frappé d'intangibilité et il peut être modifié; mais, dans ce cas, une permission préalable est nécessaire (la sanction prévue à l'article 21 est une amende pouvant être suivie d'une demande en dommages-intérêts intentée par le ministre des Beaux-Arts).

c) *La suite normale de l'arrêté de classement est la transcription* qui en est faite, par les soins de l'administration au bureau des hypothèques, de la situation de l'immeuble classé (article 10). On ne sera point étonné de trouver dans la loi un article (article 11), pour affirmer que les effets du classement suivent le monument naturel ou le site classé en quelques mains qu'il passe; il est plus étonnant que le même article enjoigne au vendeur d'un site classé l'obligation de signaler le classement à son acquéreur et de notifier au ministère des Beaux-Arts l'aliénation intervenue. Par une disposition formelle de l'article 13, un site classé ou proposé au classement ne peut être frappé d'aucune servitude qui aurait pour but de modifier le caractère ou l'aspect des lieux et même une prescription trentenaire n'aurait aucun effet acquisitif.

d) *Le législateur n'a pas voulu grever une propriété par une servitude d'intérêt général*, sans que le grand principe de l'indemnité ait été consacré par la loi elle-même : aussi, il l'a inscrit dans l'article 8, mais d'une manière tellement modeste qu'il appparaît difficilement : « le classement (par décret) donnera lieu au paiement d'une indemnité lorsqu'il entraînera un dommage pour le propriétaire... La demande devra être produite dans les six mois à dater de la notification d'un décret de classement. Les contestations relatives à l'indemnité sont jugées en premier ressort par le juge de paix du canton. Si le montant de la demande excède 1 500 fr, il y aura appel devant le tribunal civil. En cas d'expertise, il peut n'être nommé qu'un seul expert ».

Il résulte des travaux préparatoires de la loi que le décret de classement en lui-même, malgré la servitude d'intérêt général qu'il crée, ne sera considéré que comme une cause de gêne, peut-être, mais non pas de dommage et, en tout cas, de dommage certain. Rien n'indique en effet que si le classement n'avait pas eu lieu, le propriétaire aurait mis en œuvre son droit de modifier son immeuble.

On ne peut s'empêcher de penser que la sobriété des termes dont le législateur s'est servi sera une source de conflit quand il s'agira de déterminer l'indemnité. Nous préférons de beaucoup le libellé qui avait été adopté dans la proposition de loi de M. Beauquier, en 1913.

« L'établissement de la servitude pourra donner lieu à une indemnité équivalente à la diminution de valeur que peut subir, par son fait, la propriété classée ». Le rapporteur de cette proposition, M. Cloarec, avait défini très nettement la nature de cette indemnité : « il a paru aux auteurs de la proposition de loi qu'une telle servitude comportait comme corollaire le principe d'une indemnité à la propriété frappée de classement : le montant de cette indemnité sera évalué conformément au vieil adage : lucrum cessans, damnum emergens », c'est-à-dire qu'il sera égal à la diminution de valeur subie par le fait du classement.

V. Classement des sites ou monuments appartenant à des collectivités publiques. — On sait que tout ministre est investi d'une sorte de suzeraineté qui lui permet d'agir, au nom des intérêts généraux qu'il représente, quand son action doit s'exercer même sur un bien qui est la propriété d'une collectivité constituée, commune ou département et, à plus forte raison, sur un bien appartenant au domaine privé ou public de l'Etat.

C'est seulement en cas de difficulté provoquée par une autre administration ayant dans ses attributions, la gestion du même bien que l'intervention du chef de l'Etat devient nécessaire. Aussi nous ne serons pas étonnés par la lecture de l'article 7 : il ordonne le classement par le ministre des Beaux-Arts des biens appartenant au domaine de la commune ou du département, à moins que la collectivité propriétaire ne s'y oppose :

c'est alors le Président de la République qui intervient par décret.

De même, l'intervention de tous les ministres intéressés et du ministre des Finances (auxquels doit s'adjoindre le ministre des Travaux publics s'il s'agit de classer un lac ou un cours d'eau susceptible de produire une puissance permanente de 50 kilowatts) est suffisante, si elle est concordante, pour permettre au ministre des Beaux-Arts de classer un site dépendant du domaine public ou privé de l'Etat. En cas de divergence de vues, le décret devient nécessaire (articles 6 et 7).

VI. **Zone de protection des monuments et sites inscrits sur la liste.** — Sans toucher à un site inscrit sur la liste établie par la commission départementale, on peut nuire à son aspect, en faisant autour de lui des œuvres susceptibles d'en compromettre la beauté. Pour que la protection qui lui sera assurée par le classement futur ne soit pas compromise, il faut procéder à la protection des environs : le préfet, après avoir pris l'avis de la commission départementale, dresse le plan des parcelles constituant la zone à protéger, en indiquant ce qui sera interdit aux propriétaires qui, en tout cas, doivent être entendus dans une enquête préalable et peuvent ainsi présenter leurs observations. Ensuite, la protection du site ainsi définie et assurée est déclarée d'intérêt général par un décret rendu en Conseil d'Etat (article 17). Ce décret est transcrit au bureau des hypothèques (article 18) et est notifié aux propriétaires des parcelles comprises dans la zone de protection ; ceux-ci ont un délai d'un an à compter de la notification du décret pour demander une indemnité ; passé ce délai, ils sont forclos. L'article 19 est ainsi rédigé : « à dater de la notification du décret prononçant l'intérêt général, les propriétaires des parcelles comprises dans la zone de protection ou leurs ayants-droit sont tenus de se conformer aux prescriptions fixées par le décret. A partir de la même date, il leur est ouvert un délai d'un an pour faire valoir devant les tribunaux compétents leurs réclamations contre les effets desdites prescriptions ».

On ne saurait trop s'étonner du laconisme de la loi : alors que dans l'article 8, le législateur a nettement spécifié que les contestations relatives à l'indemnité postérieure au « classement » seraient portées devant le juge de paix avec appel au tribunal civil pour toute demande supérieure à 1500 fr ; il est resté dans les termes très imprécis pour l'indemnité afférente à la création de la servitude d'intérêt général et, en se contentant de la formule vague « les tribunaux compétents », il paraît ignorer lui-même quelle juridiction il doit désigner. Cela est d'autant plus regrettable que l'innovation de la zone de protection a reçu au Parlement un excellent accueil et a été étendue par l'article 28 de la loi aux immeubles situés aux environs des monuments historiques classés en vertu de la loi du 31 décembre 1913 (voir ci-dessus). La création d'une servitude dite d'intérêt général n'a aucun rapport avec l'exécution d'un travail public : elle constituerait plutôt une atteinte au droit de propriété des particuliers et, de ce chef, ce sera la juridiction judiciaire qui nous semble seule être compétente.

VII. **Accord du tourisme et de l'utilisation de la houille blanche.** — On ne saurait considérer la montagne comme appartenant exclusivement au tourisme, ou au domaine de la houille blanche, puisque en réalité, elle est leur patrimoine commun.

L'industrie du tourisme est évidemment plus ancienne que l'utilisation des ressources hydroélectriques. Elle a été créée, ou au moins développée par une vulgarisation intense, il y a quarante ans, par des alpinistes qui, à cette époque, étaient jeunes, pratiquaient le sport en conquérant la montagne par des marches forcées, du 15 juillet au 15 septembre, s'accrochant au flanc des ravins abrupts, découvrant avec ravissement des sites qu'ils croyaient inexplorés, et étaient profondément heureux de trouver le soir une chaumière pour s'abriter contre la fraîcheur de la nuit. Cette génération qui a encore des représentants (j'en connais au moins un) ne permettra jamais que l'on saccage la montagne qui a fait la joie de leurs vacances.

Dans la forme actuelle, au moins la plus connue, le tourisme se présente sous les apparences d'une industrie qui véhicule des milliers de personnes dans des autocars confortables, leur faisant parcourir des centaines de kilomètres, les arrêtant quelques minutes en face d'une gorge encaissée, pour qu'elles puissent s'extasier devant une chute d'eau, bruissante et écumeuse. Aussi, à l'étape suivante, au « Palace Hôtel » le plus voisin, tous les voyageurs achèteront une carte postale. Mais quel est celui qui, pendant l'hiver, pensera à ces régions alpestres, manquant de tout, sauf de pittoresque, à cette énergie hydraulique perdue, bien que capable de donner la force motrice à l'atelier familial, ou l'éclairage aux foyers domestiques?

Aussi nous croyons que les touristes les plus âgés, comme les plus modernes, n'ont pas le droit de proclamer comme un dogme l'intangibilité complète des cours d'eaux même pittoresques, et nous sommes heureux que la loi nouvelle ne l'ait pas inscrit dans un de ses articles : elle a pour but de « protéger », pour que ne se commette point « l'irréparable » ; c'est-à-dire de permettre d'arriver à la conciliation des intérêts respectables. Peut-être, comme il se produit souvent, l'application de la loi a-t-elle précédé l'apparition de son texte ; et il faut applaudir à certaines initiatives dont nous trouvons les traces dans quelques cahiers des charges annexés aux décrets les plus récents : par exemple, si une conduite forcée doit traverser une forêt dont l'harmonie ne doit pas être troublée par une bande dépouillée d'arbres, nous voyons cette sujétion imposée dans les termes suivants : (Décret du 15 mai 1928, relatif à la chute de Saint-Cricq sur le gave d'Ossau ; (*Journal officiel* du 5 novembre 1928), « Préservation des sites : De chaque côté de la conduite forcée sur une largeur maximum de 15 m, il

sera établi et entretenu par le concessionnaire du haut en bas de la montagne une plantation d'arbres à feuilles persistantes (chênes rouges d'Amérique, épicéas ou pins sylvestres). »

S'il y a lieu de ménager le site d'une cascade dont le caractère pittoresque est répertorié depuis longtemps dans les guides de tourisme, on trouvera une excellente disposition dans le décret du 15 octobre 1929 (*Journal officiel* du 18 octobre 1927; chute d'Artigues sur l'Adour du Garet) : « Le concessionnaire sera tenu de maintenir du 1er juillet au 30 septembre à l'amont immédiat de la cascade du Garet et pour l'alimentation de cette cascade, soit par des lâchers d'eau au barrage des Laguets, soit par l'aménagement du lac de Caderolles, soit par la construction d'un réservoir spécial, ou tout autre moyen à sa convenance un débit minimum continu de 220 l : s pendant huit heures par jour. En cas d'insuffisance des ressources naturelles et du dispositif prévu pour l'alimentation de la cascade, le concessionnaire sera tenu d'y suppléer par des lâchures appropriées à la prise d'eau. L'horaire de fonctionnement de la cascade sera fixé par l'ingénieur en chef, après avis de la commission départementale des sites . . . L'usine devra avoir un caractère architectural s'harmonisant avec le site dans lequel elle sera édifiée. »

On peut citer également la chute de la Glane dans le département de la Corrèze et le décret du 18 mai 1930 (*Journal officiel* du 23 mai), auquel a été annexé un avenant au cahier des charges, dans lequel on lit l'engagement du concessionnaire : « Il est pris acte de l'engagement du concessionnaire d'autoriser la pêche à la ligne flottante sur toute l'étendue du réservoir à tous les habitants des communes intéressées par les aménagements projetés et de réserver des lots de pêche, etc. Il est pris acte de l'engagement du concessionnaire de mettre à la disposition du Conseil général de la Corrèze une somme de 30 000 fr pour frais d'aménagements touristiques et d'embellissement des sites et paysages dans le voisinage du réservoir. »

Peut-être était-il avantageux que cette orientation nouvelle dans les idées fût indiquée . . .

Paul Bougault,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Sur la situation au point de vue des assurances sociales du personnel des entreprises de distribution d'énergie électrique n'ayant pas établi un statut de leur personnel.

Le « Journal officiel » du 16 septembre 1930 publie, page 3212 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

9754. — M. Canu expose à M. le ministre du Travail qu'une compagnie concessionnaire de la distribution d'électricité (force et éclairage) dans une ville du Pas-de-Calais et dans diverses communes voisines, n'a point encore, à l'heure actuelle, établi un statut du personnel qu'elle emploie sur le territoire qui lui est concédé, malgré les prescriptions de la loi du 28 juillet 1928, et demande : 1° quels sont les moyens que la législation met à la disposition des administrations concédantes pour l'y astreindre; ajoute que cette même compagnie a fait immatriculer ses agents au service départemental des assurances sociales, qui leur a distribué des cartes refusées par le personnel, lequel réclame son statut ; 2° si le rectificatif (art. 49 de la loi des assurances sociales) n'enjoint pas à toute compagnie concessionnaire de doter son personnel d'un statut type ; 3° si une compagnie peut suppléer ainsi à la carence du statut de la loi du 28 juillet 1928 par un recours à la loi du 5 avril 1928 et au rectificatif ; 4° si le service départemental des assurances sociales peut accepter pareille solution et délivrer valablement les cartes d'immatriculation ; 5° si le personnel est en droit de refuser l'immatriculation aux assurances sociales et de réclamer le statut type. (Question du 8 juillet 1930.)

Réponse. — 1° S'il est établi que l'impossibilité d'annexer un statut du personnel au cahier des charges de la concession résulte du mauvais vouloir persistant du concessionnaire, l'autorité concédante peut être amenée à provoquer la déchéance de la concession. Le Ministère du Travail n'a pas été avisé qu'il ait été nécessaire d'envisager jusqu'ici cette sanction. Si le cas particulier dont il s'agit était porté à la connaissance du ministre du Travail, celui-ci pourrait intervenir, comme il l'a fait déjà, en vue d'arriver à un accord entre le concessionnaire et l'autorité concédante pour l'application de la loi du 28 juillet 1928 ; 2°-3° la loi du 28 juillet 1928 relative au statut du personnel des concessions de production ou de distribution de gaz et d'électricité fait une obligation aux pouvoirs concédants d'introduire dans les cahiers des charges des clauses fixant le statut du personnel. Ces cahiers doivent ainsi être complétés, le cas échéant, par des clauses relatives à la retraite du personnel et les compagnies concessionnaires doivent s'y conformer. Toutefois, les pouvoirs concédants peuvent, dans leurs cahiers, se référer purement et simplement, en ce qui concerne les retraites, au régime de droit commun, actuellement le régime des assurances sociales. L'article 49 de la loi sur les assurances sociales modifiée, maintient sous le régime des règlements de retraite institués ou à instituer en application de la loi du 28 juillet 1928, le personnel des compagnies concessionnaires susvisées, lorsqu'il bénéficie de tels règlements. Ce personnel reste en conséquence en dehors du régime général des assurances sociales, sous réserve de la coordination des règlements les concernant avec le régime général, coordination qui doit être réalisée par décret avant le 1er juillet 1931. Les agents des services publics du gaz et de l'électricité qui, en vertu des cahiers des charges, restent sous le régime de droit commun, doivent être immatriculés sous le régime des assurances sociales, lorsque leur rémunération totale annuelle n'excède pas les chiffres-limite fixés à l'article premier de la loi sur les assurances sociales. Il en est de même, à titre provisoire, et jusqu'à ce qu'interviennent les règlements particuliers que les concessionnaires devraient instituer en application des cahiers des charges complétés conformément à la loi du 28 juillet 1928, des agents dont la situation ne serait pas encore réglée au point de vue de cette loi; 4° les cartes d'immatriculation ne peuvent être délivrées qu'à ceux des agents qui, d'après les explications précédentes, relèvent du droit commun ; 5° le

personnel n'est en droit de refuser l'immatriculation sous le régime des assurances sociales que si, d'après les clauses du cahier des charges, un règlement particulier de retraite doit être institué par les compagnies en leur faveur.

Sur la situation au point de vue des assurances sociales des assurés obligatoires de la loi de 1910 sur les retraites ouvrières.

Le « Journal officiel » du 16 septembre 1930 publie, page 3212, des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

9799. — M. Goujon demande à M. le ministre du Travail que doivent faire, à partir du 1er juillet, les assujettis aux retraites ouvrières. (Question du 10 juillet 1930.)

Réponse. — Les assurés obligatoires de la loi du 5 avril 1910 sur les retraites ouvrières sont en principe immatriculés aux assurances sociales, sous réserve qu'ils n'aient pas cessé d'être salariés et que leur rémunération ne dépasse pas les chiffres réglementaires. En ce qui concerne leurs droits à la retraite, ceux qui avaient atteint au 1er juillet 1930 l'âge de 55 ans sans avoir dépassé leur soixantième année peuvent, à leur choix, soit faire liquider immédiatement ou à 60 ans leur pension de retraite ouvrière — dans ce cas, si leurs versements sont réguliers, ils obtiendront l'allocation de l'Etat fixée actuellement à 60 ans à 500 fr — soit rester 5 ans soumis aux assurances sociales et demander la liquidation de leur retraite au titre de la nouvelle législation; ils recevront alors une pension dont le minimum garanti atteindra 600 fr et à laquelle s'ajoutera la rente produite par les versements figurant à leur compte « retraites ouvrières ». En outre, la loi sur les assurances sociales contient des dispositions spéciales en faveur des salariés âgés au 1er juillet 1930 de 60 à 65 ans, qui n'ont pas bénéficié, ou ne pourront pas bénéficier, de l'allocation de la loi des retraites ouvrières. Par application de l'article 15, paragraphe 3, ils peuvent demander leur inscription à l'assurance obligatoire pour le risque vieillesse seulement, et après avoir versé pendant 5 ans la contribution ouvrière totale de leur catégorie, obtenir un minimum garanti de pension de 500 fr. En ce qui concerne les assurés facultatifs de la loi des retraites ouvrières, ils peuvent se faire inscrire à l'assurance facultative de la nouvelle loi, si, toutefois, ils remplissent les conditions prévues à l'article 37 de cette loi. En tout état de cause, le capital correspondant à la portion de bonification acquise par chacun d'eux au 1er juillet 1930 sera porté à son compte individuel et augmentera d'autant la retraite ouvrière à laquelle il aura droit à 60 ans.

Sur la non-extension aux artisans des villes des avantages accordés aux artisans ruraux pour l'inscription facultative aux assurances sociales.

Le « Journal officiel » du 16 septembre 1930 publie, page 3212 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

9780. — M. Robert Thoumyre demande à M. le ministre du Travail : 1° si les artisans exerçant dans les villes les professions énumérées par le décret du 9 février 1921 sont admis, pour l'application de la loi sur les assurances sociales, à bénéficier des mêmes avantages que les artisans ruraux assimilés aux professions agricoles; 2° dans la négative, quel est le chiffre maximum de la population des villes dans lesquelles ces artisans doivent exercer leur profession pour profiter de ces avantages. (Question du 9 juillet 1930.)

Réponse. — Les artisans susceptibles de bénéficier, pour l'assurance facultative, du régime spécial aux professions agricoles sont ceux qui sont visés à l'article 9 du décret du 9 février 1921, qu'ils soient ou non adhérents d'un syndicat agricole, c'est-à-dire les petits artisans ruraux, tels que maréchaux ferrants, forgerons, réparateurs de machines-outils, d'instruments ou de bâtiments agricoles, bourreliers, sabotiers, tonneliers, charrons, etc., n'employant pas plus de deux ouvriers de façon permanente. Seuls les artisans des communes rurales paraissent pouvoir se réclamer de cette disposition, à l'exclusion de ceux des villes.

Sur le calcul des impôts frappant les sociétés à responsabilité limitée et leurs gérants.

Le « Journal officiel » du 16 septembre 1930 publie, pages 3196, 3197 et 3198 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » les questions et les réponses qui suivent :

9173. — M. Taudière demande à M. le ministre du Budget si les gérants d'une société à responsabilité limitée qui possèdent la majorité des parts sociales et qui doivent, pour la déclaration de l'impôt général sur le revenu mentionner, à titre indicatif dans la cédule salaires, les rémunérations perçues en qualité de gérants, sont autorisés, le cas échéant, à distraire de ces rémunérations les charges dont la déduction est admise pour l'ensemble des salariés, ceci conformément aux indications contenues dans la question posée par M. Léon Lierman, n° 3030, août 1929, d'après laquelle il a été spécifié que les rémunérations desdits gérants conservent, au regard des bénéficiaires, le caractère d'appointements. (Question du 5 juin 1930).

Réponse. — Conformément à l'article premier du décret du 30 décembre 1926, les associés gérants d'une société à responsabilité limitée sont, comme tout redevable de l'impôt général, admis à déduire de leur revenu brut le montant des dépenses effectuées en vue de l'acquisition de ce revenu. Il s'ensuit que, dans le cas envisagé, les intéressés peuvent ne mentionner dans leur déclaration que le montant du traitement qu'ils reçoivent sous déduction des dépenses spécialement nécessitées par l'exécution de leur mandat, et supportées effectivement par eux-mêmes.

9278. — M. André Février demande à M. le ministre du Budget si, dans une société à responsabilité limitée dont le gérant, à titre de supplément de salaire alloué dans le but d'inciter ce gérant à apporter tous ses soins dans la direction dont il est chargé, a droit à un pourcentage sur les bénéfices, ce pourcentage peut être déduit du bénéfice imposable et cotisable au titre des salaires au nom du gérant ; *a*) si le gérant n'est pas associé ; *b*) si le gérant unique est associé mais ne possède pas la moitié des parts sociales. (Question du 12 juin 1930.)

Réponse. — *a*) Réponse affirmative ; *b*) réponse négative. Les tantièmes attribués à un associé gérant d'une société à responsabilité limitée doivent être considérés comme une distribution de bénéfices sociaux et, par suite, rester compris dans les bases de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux dû par la société. Ces tantièmes ne doivent pas, par contre, être cotisés à l'impôt sur les traitements et salaires au nom du bénéficiaire.

9366. — M. Léon Lierman demande à M. le ministre du Budget si, dans une société à responsabilité limitée, composée de deux associés, l'un étant gérant, l'autre non gérant, travaillant tous deux dans la société et possédant chacun 50 pour 100 des parts, les salaires alloués à chacun d'eux doivent être déduits des bénéfices, en vue de l'établissement de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux ; 2° dans la négative, quelle est la manière de voir de l'administration en ce qui concerne les salaires dans le cas sus indiqué. (Question du 18 juin 1930.)

Réponse. — La première partie de la question comporte une réponse affirmative, étant entendu que le deuxième associé, bien que non investi des fonctions de gérant, ne participe pas, en fait, à la gestion des affaires sociales.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 17. — 25 OCTOBRE 1930.

Chronique. — Commission électrotechnique internationale : Recommandations concernant les unités magnétiques, p. 633. — Bibliographie : Comptabilité à résultats mensuels d'une société de distribution d'énergie électrique, par Marius DUBOULOZ, p. 633; Cours de T. S. F., par Michel ADAM, p. 634; Recueil des règlements; prescriptions, recommandations concernant les industries du carbure de calcium, de l'oxygène, de l'acétylène et de la soudure autogène, p. 634; Les miracles du crédit, par Emile MIREAUX, p. 634; Les assurances sociales. Commentaire pratique de la loi et les décrets in extenso, p. 634; La mécanique ondulatoire et les nouvelles théories quantiques, par Arthur HAAS, traduit de l'allemand par A. BOGROS et F. ESCLANGON, p. 634.

Section scientifique et technique. — L'électricité, l'éther et les quanta, par F. PRUNIER, p. 635. — Revues, analyses et informations : Les nouvelles théories de la dissociation électrolytique, p. 646; La colonne positive uniforme d'une décharge électrique dans la vapeur de mercure, p. 648; Les caractéristiques magnétiques du nickel, p. 649; L'inductance mutuelle de courts solénoïdes coaxiaux et concentriques, p. 650.

Section industrielle. — Les accumulateurs électriques d'après les brevets récents, par L. JUMAU, p. 651. — La station d'essais à deux millions de volts de la Porzellanfabrik Rosenthal à Selb, par C. A., p. 663. — Revues, analyses et informations : Calcul relatif à la protection d'une ligne de transmission par conducteurs reliés à la terre, p. 667; Les câbles souterrains à haute tension en Angleterre, p. 668.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à Gaz, p. 669; Société de Production et de Distribution d'Energie (précédemment dénommée Electricité de Reims), p. 670; Compagnie générale de Télégraphie sans Fil, p. 671; Est-Lumière (Compagnie d'Electricité de l'Est parisien), p. 672.

Commission électrotechnique internationale : Recommandations concernant les unités magnétiques. — En attendant que nous puissions rassembler les documents nécessaires pour publier avec quelques détails dans ces colonnes un compte rendu de la dernière session plénière de la Commission électrotechnique internationale, nous donnons ci-dessous le texte des recommandations concernant les unités magnétiques qui y ont été adoptées, recommandations qui ont été commentées et critiquées par M. A. Blondel (1) dans un article publié il y a quinze jours et au sujet desquelles M. Kennelly et M. Mailloux nous ont adressé des articles devant paraître très prochainement.

Voici ce texte :

« Les noms suivants pour les unités magnétiques C. G. S. sont compris dans les recommandations pour adoption :

Flux magnétique.....	maxwell
Induction magnétique.....	gauss
Intensité de champ magnétique.....	œrsted
Force magnétomotrice.....	gilbert. »

Ajoutons que dans l'article de M. Blondel s'est glissée, page 558, colonne 1, ligne 15, une erreur de plume que vient de nous signaler un de nos lecteurs. Il est, en effet, évident que, au lieu de « impédance », il faut lire « inductance », ainsi qu'il résulte d'ailleurs de l'unité employée pour exprimer la valeur de la grandeur considérée, le millihenry.

(1) A BLONDEL ; Sur les unités magnétiques : Un plaidoyer pour la logique. *Revue générale de l'Electricité*, 11 octobre 1930, t. XXVIII, p. 555-560.

Bibliographie : Comptabilité à résultats mensuels d'une société de distribution d'énergie électrique, par Marius DUBOULOZ, chef de comptabilité (1). — Cet ouvrage intéresse tous les chefs d'entreprises de transmission et de distribution d'énergie électrique qui y trouveront les plus utiles suggestions sur l'organisation rationnelle de leur comptabilité. Il ne donne pas toutefois la théorie de la comptabilité en général, que tous ceux à qui s'adresse cette étude sont censés connaître parfaitement.

Après un aperçu sur la législation des distributions d'énergie électrique, l'auteur examine les modes de vente les plus usités par les compagnies, puis il expose le plan comptable de l'entreprise et donne une analyse détaillée des différents comptes qui vont entrer en jeu. Il étudie leur application aux diverses branches de l'exploitation : fourniture d'énergie proprement dite, location des appareils de comptage, installations intérieures chez les abonnés, dépenses engagées dans les travaux d'extension de l'entreprise.

Pour chacune de ces questions l'auteur décrit les documents et les livres nécessaires à l'enregistrement des divers

(1) Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 150 pages, avec 27 figures dans le texte, édité par la librairie Dunod, 92, rue Bonaparte, à Paris (6e). Prix : broché, 36 fr; relié, 45 fr.

mouvements, s'attachant surtout à ceux qui sont spéciaux au genre d'entreprise considéré.

Dans la dernière partie de l'ouvrage, l'auteur décrit la disposition des journaux analytiques communs et du journal centralisateur et donne un schéma de centralisation mensuelle permettant de dégager les résultats de l'exploitation. — R. L.

Bibliographie : Cours de T. S. F., par Michel Adam, ingénieur E. S. E. (1). — Cet ouvrage présente sous une forme élémentaire une initiation complète à la technique des radiocommunications. Il comporte une introduction rédigée par M. Georges Gueben et destinée à fournir au lecteur des connaissances élémentaires d'électricité.

L'ouvrage très clair, sans formules mathématiques, est illustré de nombreux schémas. Les explications font appel à des analogies avec les phénomènes mécaniques très familiers et sont susceptibles de satisfaire la curiosité des nombreux usagers de la radiophonie,

Les premiers chapitres traitent des vibrations de la matière et des vibrations électriques, ainsi que des propriétés des ondes élastiques et des ondes radioélectriques. L'auteur aborde l'examen des radiocommunications, étudiant les antennes d'émission et de réception, les divers émetteurs et récepteurs d'ondes amorties. Un chapitre est consacré à l'étude élémentaire de l'électronique, ce qui permet d'aborder celle des lampes et des générateurs et récepteurs à lampes. Les questions traitées ensuite sont relatives à la radiophonie proprement dite, au mécanisme de la propagation des ondes et à la radiogoniométrie.

La lecture de cet ouvrage se recommande à toute personne désireuse d'acquérir rapidement les principes essentiels de la radiotechnique, soit dans le but de comprendre le fonctionnement des postes récepteurs d'amateurs, soit en vue d'aborder avec profit l'étude des traités spéciaux. — R. L.

Bibliographie : Recueil des règlements, prescriptions, recommandations concernant les industries du carbure de calcium, de l'oxygène, de l'acétylène et de la soudure autogène (2). — L'état actuel du développement des industries du carbure de calcium, de l'oxygène, de l'acétylène et de la soudure autogène nécessite des industriels qui en font usage une connaissance parfaite des règlements. Le but de cette brochure est de combler cette lacune et de faciliter la connaissance complète des droits et des devoirs de chacun en la matière.

Dans la première partie, la brochure donne une analyse avec les extraits indispensables de tous les règlements, prescriptions, recommandations concernant le carbure de calcium, l'oxygène, l'acétylène et la soudure autogène. On y trouve des renseignements sur les formalités exigées pour les demandes d'ouverture d'établissements classés et sur la responsabilité des réparateurs par soudure autogène.

Dans la seconde partie sont reproduits soit textuellement, soit en extraits détaillés, les règlements, cahiers des charges, prescriptions et recommandations communs aux mêmes industries. Des documents utiles à connaître comme les prescriptions du Bureau Véritas et des Associations de Propriétaires d'Appareils à Vapeur sont également reproduits. La troisième et dernière partie est consacrée aux règlements internationaux et à la Commission permanente internationale de l'Acétylène et de la Soudure autogène. — R. L.

Bibliographie : Les miracles du crédit, par Emile Mireaux (1). — Cet ouvrage traite d'un des aspects les plus importants de la vie économique actuelle, à savoir le crédit qui est une des manifestations les plus caractéristiques de la phase industrielle. Il a remplacé d'autres formes d'activité qui ne pouvaient plus correspondre à la vie sociale. Le crédit n'a peut-être pas le rôle éminent qu'on veut parfois lui accorder ; mais il permet néanmoins d'étudier très efficacement la conduite des affaires. C'est ce qu'a fait l'auteur dans cet ouvrage dont on peut recommander la lecture à toutes les personnes qu'intéressent les questions économiques. — R. L.

Bibliographie : Les assurances sociales. Commentaire pratique ; la loi et les décrets in extenso (2). — Cet ouvrage est appelé à rendre de grands services à tous ceux qui doivent appliquer la nouvelle législation sur les assurances sociales. La complexité de la loi elle-même, le grand nombre de décrets et d'arrêtés qui l'ont suivie, rendent en effet la tâche de l'employeur particulièrement difficile. Il peut même, sans s'en rendre compte, encourir de graves responsabilités.

Outre le texte in extenso de la loi et la reproduction des décrets et des arrêtés qui l'ont suivie, l'ouvrage comprend un commentaire très détaillé des dispositions générales de la loi, et des principaux cas particuliers.

Après une étude générale de l'assurance obligatoire l'ouvrage traite des divers régimes particuliers : assurance agricole, assurance facultative, dispositions transitoires.

Les droits des assurés en cas de maladie ou d'accidents, de maternité, de décès, d'invalidité et de vieillesse sont examinés successivement. Enfin le commentaire pratique se termine par une étude de l'organisation administrative. — R. L.

Bibliographie : La mécanique ondulatoire et les nouvelles théories quantiques, par Arthur Haas, professeur à l'Université de Vienne, traduit de l'allemand, par A. Bogros et F. Esclangon (3). — Cet ouvrage, dont MM. A. Bogros et F. Esclangon nous donnent une traduction d'une remarquable clarté, est une initiation aux progrès de la physique moderne.

Ainsi que le fait remarquer M. Emile Borel dans la préface qu'il a rédigée pour cet ouvrage, le livre de M. Arthur Haas facilite la compréhension des livres qui rattachent la physique du siècle dernier à celle de notre siècle. Il constitue une excellente introduction à l'étude des mémoires originaux auxquels on doit se reporter avant d'entreprendre des recherches personnelles, mais dont la lecture est parfois ingrate quand elle n'est pas précédée d'une étude systématique. — L. V.

(1) Un volume, format 25 cm × 14 cm, de 230 pages, avec 160 figures dans le texte, édité par les Editions de Radio-Home, 81, avenue Niel, à Paris (17e). Prix : broché, 15 fr.

(2) Un volume, format 21 cm × 13 cm, de 140 pages, avec 7 figures dans le texte, édité par l'Office central de l'Acétylène et de la Soudure autogène, 14, boulevard de Clichy, à Paris (18e). Prix : broché, 10 fr.

(1) Un volume, format 19 cm × 12 cm, de 256 pages, édité par les Editions des Portiques, 144, avenue des Champs-Elysées, à Paris (8e). Prix : broché, 12 fr.

(2) Un volume, format 24 cm × 15,5 cm, de 136 pages, édité par la Société fiduciaire de France, 12, rue de Penthièvre, à Paris (8e), Prix : broché, 10 fr.

(3) Un volume, format 18,5 cm × 13,5 cm, de 198 pages, avec 5 figures dans le texte, édité par la librairie Gauthier-Villars et Cie, 55, quai des Grands-Augustins, à Paris (6e). Prix : broché, 30 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

L'électricité, l'éther et les quanta

Après avoir retrouvé les équations de Maxwell comme équations les plus générales des mouvements de l'éther, l'auteur déduit certaines propriétés de l'éther. Il montre ensuite comment ces propriétés permettent de donner des figurations des phénomènes électriques, magnétiques, lumineux et gravifiques. Il est ainsi conduit à introduire dans la théorie de ces phénomènes des types d'ondes et de vibrations nouveaux. Ces types d'ondes sont précisément ceux auxquels correspond la fameuse équation de Schrödinger. La conclusion de l'auteur est que la mécanique ondulatoire n'est pas au fond différente de la mécanique classique, mais qu'elle peut en apparaître comme un chapitre, de la même manière qu'en des articles publiés dans cette revue (*), il avait montré que la dynamiqne de la relativité pouvait apparaître comme un chapitre de la dynamique classique.

Quand ils ont voulu préciser l'éther de Descartes, qui était à son début aussi mystérieux que l'est actuellement celui de la relativité, les physiciens lui ont attribué des propriétés un peu étranges, et l'on comprend la réaction qui eut lieu contre lui et qui conduisit d'abord à le nier. Aujourd'hui qu'il est de nouveau admis il s'agira de reprendre la détermination des propriétés par lesquelles il conditionne les phénomènes électromagnétiques, optiques ou autres.

I. **Etablissement des équations de Maxwell comme équations les plus générales des mouvements de l'éther. Obtention d'une propriété de l'éther.** — Considérons d'abord, pour faire le moins d'hypothèses possible, cet éther comme un milieu dont nous supposerons simplement qu'il se compose de parties pouvant être suivies dans le temps.

Soient G_1, G_2, G_3 les composantes suivant trois axes de coordonnées rectangulaires O x y z de la vitesse d'un élément de ce milieu. Soient X_1, Y_1, Z_1, les composantes d'une force appliquée à cet élément, ρ la densité du milieu et p la pression que l'élément considéré supporte de la part des autres éléments.

Les équations de l'hydrodynamique établies pour un pareil milieu donneront

$$G_1 \frac{\partial G_1}{\partial x} + G_2 \frac{\partial G_1}{\partial y} + G_3 \frac{\partial G_1}{\partial z} + \frac{\partial G_1}{\partial t} = X_1 - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (1)$$

et deux équations analogues.

Transformons ces équations de manière à introduire la fonction

$$2T = G_1^2 + G_2^2 + G_3^2.$$

On a

$$G_1 \frac{\partial G_1}{\partial x} + G_2 \frac{\partial G_1}{\partial y} + G_3 \frac{\partial G_1}{\partial z} = \frac{\partial T}{\partial x} + G_2 \left(\frac{\partial G_1}{\partial y} - \frac{\partial G_2}{\partial x} \right) + G_3 \left(\frac{\partial G_1}{\partial z} - \frac{\partial G_3}{\partial x} \right).$$

Appelons L, M, N, le double des composantes de la rotation instantanée

$$\left.\begin{aligned} L &= \frac{\partial G_3}{\partial y} - \frac{\partial G_2}{\partial z}, \\ M &= \frac{\partial G_1}{\partial z} - \frac{\partial G_3}{\partial x}, \\ N &= \frac{\partial G_2}{\partial x} - \frac{\partial G_1}{\partial y}. \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

La première équation (1) s'écrit alors

$$\frac{\partial G_1}{\partial t} + (MG_3 - NG_2) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial x} - X_1 = 0.$$

Admettons l'existence d'une relation $f(p, \rho) = 0$ entre la densité et la pression ; supposons qu'il existe un potentiel U de la force X_1, Y_1, Z_1. Posons alors

$$H = \int \frac{dp}{\rho} + T + U, \text{ et}$$

$$\left.\begin{aligned} X &= MG_3 - NG_2, \\ Y &= NG_1 - LG_3, \\ Z &= LG_2 - MG_1. \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

Les équations (1) prennent la forme

$$\left.\begin{aligned} X &= -\frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\partial G_1}{\partial t}, \\ Y &= -\frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\partial G_2}{\partial t}, \\ Z &= -\frac{\partial H}{\partial z} - \frac{\partial G_3}{\partial t}. \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

(*) F. Prunier ; A propos de la relativité. *Revue générale de l'Electricité*, 7 et 14 février 1925, t. XVII, p. 207-213 et 247-251 ; 18 juillet 1925, t. XVIII, p. 107-110 et 8 septembre 1928, t. XXIV, p. 353-354.

Les six relations (2) et (4) sont celles qui existent en électromagnétisme entre les forces magnétiques L, M, N, les forces électriques X, Y, Z, le potentiel vecteur G_1, G_2, G_3 et le potentiel scalaire H.

Nous considérons à priori, avons-nous dit, ce milieu comme déterminant, par ses mouvements, les phénomènes électromagnétiques. Or, en établissant les équations les plus générales possibles de ces mouvements, nous trouvons des équations qui sont précisément de la forme des équations générales de l'électromagnétisme. Nous devons conclure que les dix quantités qui figurent dans ces équations sont les mêmes que les dix qui figurent dans celles de l'électromagnétisme.

Eliminons par dérivation et soustraction la fonction H dans le groupe (4). Nous trouvons des équations qui ne peuvent être autres que celles d'un groupe d'équations de Maxwell

$$\frac{\partial X}{\partial y} - \frac{\partial Y}{\partial x} = \frac{\partial N}{\partial t}, \text{ etc.}$$

Les premiers membres des équations du second groupe s'obtiendront par dérivation à partir des équations (2).

C'est ainsi qu'on a, en opérant sur les deux premières équations de ce groupe,

$$\frac{\partial L}{\partial y} - \frac{\partial M}{\partial x} = \frac{\partial^2 G_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G_3}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 G_3}{\partial z^2} - \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial G_1}{\partial x} + \frac{\partial G_2}{\partial y} + \frac{\partial G_3}{\partial z}\right).$$

Dans une région de l'espace où l'éther, tout en étant peut-être compressible, ne serait pas comprimé, les produits par 4π des composantes de la densité de courant se réduiraient à ΔG_1, ΔG_2, ΔG_3. Dans le cas d'un courant cylindrique et de grande longueur, dont l'axe est dirigé suivant Oz, l'expérience montre que X, Y et N sont nuls. Il en résulte que G_3 est nul et que la densité w suivant Oz serait donnée par

$$4\pi w = \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial G_1}{\partial x} + \frac{\partial G_2}{\partial y}\right),$$

d'où

$$4\pi w z = \frac{\partial G_1}{\partial x} + \frac{\partial G_2}{\partial y},$$

la constante d'intégration pouvant être prise nulle.

Par raison de symétrie, la solution de cette équation qui convient est sur une circonférence située dans un plan normal à Oz et centrée sur Oz

$$G_1 = 2\pi w z x,$$
$$G_2 = 2\pi w z y,$$

d'où un moyen de mesurer la vitesse de l'éther. Les forces magnétiques L et M seront alors en valeurs absolues égales à $2\pi w y$ et $2\pi w x$, et la force magnétique totale T en un point situé à la distance R de l'axe sera $2\pi w R$, d'où

$$\frac{1}{2}\frac{T}{\pi R} = w,$$

et si i est l'intensité du courant égale à $\pi R^2 w$

$$\frac{1}{2} TR = i.$$

C'est la définition de l'intensité du courant par son action électromagnétique. Si l'on remarque que

$$\frac{2}{R} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \frac{d\alpha}{r},$$

$d\alpha$ désignant l'angle sous lequel on voit à la distance r un élément dl du courant, on obtient la formule élémentaire de Biot et Savart $T = \frac{i\,d\alpha}{r}$, fondement de l'électromagnétisme.

La force électrique doit pouvoir être déterminée, elle aussi, quand on connaît l'intensité du courant. Les formules (3) permettent d'y arriver. On en déduit, en effet, G_1 G_2, L et M étant déjà connus, la force électrique

$$Z = 4\pi^2 w^2 z (x^2 + y^2) = 4\pi^2 w^2 z r^2.$$

En un point de la surface du conducteur, à une distance r de l'axe, l'énergie d'ordre électrique, représentée en valeur absolue par la fonction de forces d'où dérive Z, est, si $i = \pi w r^2$ désigne l'intensité du courant,

$$2\pi^2 w^2 z^2 r^2 = \frac{2}{r^2} i^2 z^2.$$

Or, cette énergie est aussi, si V en est le potentiel électrostatique et si C désigne ce qu'on peut appeler la capacité ponctuelle en ce point, $\frac{1}{2} C V^2$.

On en déduit

$$V = \frac{2}{\sqrt{C}}\frac{iz}{r} = \frac{2\pi r}{\sqrt{C}}\frac{iz}{s},$$

s désignant la section du conducteur. C'est là la loi d'Ohm si $\frac{2\pi r}{\sqrt{C}}$ désigne la résistivité du conducteur de rayon r. Nous montrons ainsi l'existence d'une relation, qui n'est pas surprenante, entre la capacité électrostatique et la résistivité, la capacité devant d'ailleurs dépendre du rayon.

Nous sommes ainsi autorisés à considérer que la divergence de la vitesse de l'éther n'est pas nulle et, par conséquent, à considérer l'éther comme compressible. Mais dès lors la question pourra se poser de revoir s'il ne lui serait pas possible de transmettre des

vibrations non seulement transversales, mais aussi longitudinales.

Les équations (3), à notre connaissance, n'ont pas encore été données. Elles sont équivalentes à la loi d'Ohm. Les phénomènes du champ électromagnétique peuvent se représenter par les neuf équations (2), (3) et (4) entre dix quantités. Elles comportent notamment comme conséquence que la connaissance du potentiel vecteur en chaque point du champ détermine complètement le champ ; car L, M, N sont connus d'après (2), X, Y, Z, d'après (3) et les dérivées partielles $\frac{\partial H}{\partial x}$, $\frac{\partial H}{\partial y}$, $\frac{\partial H}{\partial z}$ d'après (4).

Du moment que les lois principales de l'électrodynamique et de l'électromagnétisme ont pu être obtenues par nous au moyen de la dynamique rationnelle des fluides, avec évidemment toutes leurs conséquences, quant à la propagation des ondes notamment, il ne paraît pas possible de soutenir l'affirmation, souvent rencontrée dans les traités sur la relativité, qu'il y a opposition entre la mécanique rationnelle et l'électromagnétisme.

II. **Figuration des phénomènes magnétiques.** — Les forces électriques ou magnétiques n'ont évidemment pas, dans nos résultats, les mêmes dimensions que dans les systèmes électrostatique ou électromagnétique, non plus que dans la théorie de Larmor. La force magnétique est de la nature d'une vitesse angulaire ou d'un tourbillon ; la force électrique est de la nature d'une accélération. C'est l'accélération complémentaire de Coriolis produite par un mouvement d'entraînement dont la rotation est L, M, N et un mouvement relatif G_1, G_2, G_3 ; le potentiel vecteur est une vitesse ; le potentiel scalaire, le carré d'une vitesse. Les rapports de ces dimensions sont bien ceux qui doivent exister.

Maxwell admet que les quantités

$$\frac{1}{2}(X^2 + Y^2 + Z^2) \quad \text{et} \quad \frac{1}{2}c^2(L^2 + M^2 + N^2)$$

représentent respectivement l'énergie cinétique et l'énergie potentielle du champ, en chaque point de ce champ. Si G_1, G_2, G_3 sont les composantes de la vitesse de l'éther en un point du champ, l'énergie cinétique d'un élément est en ce point

$$T = \frac{1}{2}(G_1^2 + G_2^2 + G_3^2),$$

ce qui, si l'on tient compte de ce que l'expression

$$LG_1 + MG_2 + NG_3$$

est nulle puisque la force magnétique est perpendiculaire au potentiel vecteur, est égal à

$$\frac{1}{2}\,\frac{X^2 + Y^2 + Z^2}{L^2 + M^2 + N^2}.$$

Si l'on continue d'admettre avec Maxwell que l'énergie potentielle est toujours

$$U = \frac{1}{2}c^2(L^2 + M^2 + N^2),$$

et si l'on forme l'expression

$$\frac{1}{2}[X^2 + Y^2 + Z^2 - c^2(L^2 + M^2 + N^2)],$$

on voit qu'elle peut s'écrire

$$U\left(\frac{T}{c^2} - 1\right).$$

Elle apparaît ainsi comme la quantité sous le radical dans l'expression du principe de la moindre action, qui peut s'écrire

$$\delta \int \sqrt{U(T - c^2)}\,dt = 0,$$

comme nous l'avons montré dans ces colonnes (1).

Dans un milieu où existent des forces magnétiques, l'éther serait donc animé de vitesses angulaires et, par suite, de vitesses linéaires. La connaissance de la nature des forces du magnétisme doit nous permettre d'en prévoir ou d'en expliquer les effets.

Au voisinage d'un aimant existent des courants d'éther dont les vitesses ont pour composantes G_1, G_2, G_3. Ces courants se continuent à l'intérieur de l'aimant, entrant par un pôle, sortant par l'autre ; et si l'on vient à briser l'aimant, comme on ne brise point pour cela le courant, on s'explique que chacun des morceaux obtenus soit à son tour un aimant. Ceci nous conduit à considérer un aimant comme un corps qui présente, dans un sens déterminé, une grande perméabilité au passage de l'éther et qui est dans ce sens parcouru par des courants d'éther.

On s'explique que, si un corps présente au passage de l'éther une perméabilité plus grande que celle du milieu ambiant, le flux magnétique se concentre sur lui ; on s'explique que des petits barreaux de fer placés dans le champ d'un aimant, ou d'un courant, ou qu'une boussole, s'orientent sous l'action de ce champ : ils tendent à se placer dans le sens du déplacement de l'éther qui les traverse ; on s'explique l'aimantation induite.

Le phénomène de la polarisation rotatoire magnétique, où le plan de polarisation de la lumière tourne d'un angle proportionnel à l'intensité du champ et à la distance parcourue par le rayon lumineux dans le sens des lignes de force du champ, permet de préciser que, dans certains corps, les filets composant les courants d'éther sont en forme d'hélices. La rotation de la direction des vibrations apparaît alors comme due à la composition de la vitesse de l'éther suivant ces filets avec

(1) F. Prunier ; A propos de la relativité. *Revue générale de l'Electricité*, 8 septembre 1928, t. XXIV, p. 353-354.

la vitesse imprimée à chaque point par la vibration même. On sait enfin que des expérimentâteurs, Macaluzo et Corbino, ont découvert qu'un rayon de lumière polarisée placé dans un champ magnétique subit des modifications au point de vue de la vitesse de propagation. Cela se conçoit, en effet; l'éther dans lequel se propage ce rayon étant en déplacement et la vitesse de propagation par rapport à l'éther étant supposée rester la même, la vitesse résultante par rapport à l'observateur peut varier, en plus ou en moins selon le sens de la propagation. Ces expériences sont, à ce point de vue, à rapprocher de celle de Fizeau sur l'entraînement de l'éther. Il serait très intéressant de vérifier de nouveau ces résultats de l'expérience, en particulier dans le cas du vide; car s'ils se confirment, ils fourniront une base expérimentale sérieuse pour discuter la proposition de la constance de la vitesse de la lumière et son caractère de vitesse limite qui, selon la relativité, sont vrais dans un champ électromagnétique.

III. **Vibrations lumineuses**. — La théorie des vibrations uniquement transversales rend un compte exact des phénomènes des interférences et de la diffraction; mais une théorie où la lumière naturelle serait constituée par des vibrations longitudinales et la lumière polarisée par des vibrations transversales en rendrait aussi bien compte, et par les mêmes moyens.

C'est l'expérience de la non interférence des rayons polarisés dans des plans rectangulaires qui conduit à admettre que les vibrations de la lumière polarisée sont transversales et, d'ailleurs, perpendiculaires ou parallèles au plan de polarisation. Mais ceci n'entraîne pas forcément que la lumière naturelle soit aussi faite de vibrations transversales.

Supposons qu'une onde lumineuse à vibrations transversales se développant dans une tranche plane d'éther de faible épaisseur, comme une onde à vibrations transversales se développe à la surface d'un liquide, vienne à rencontrer un obstacle oblique à cette tranche. Cette onde sera réfléchie non point dans le plan défini par la direction de propagation de l'onde primitive et par la normale à l'obstacle au point d'incidence, mais bien dans le plan de cette tranche, comme l'onde du liquide sera réfléchie dans le plan de la surface. D'ailleurs, la construction du rayon réfléchi par la méthode des ondes enveloppes peut se faire dans le plan de propagation de l'onde; elle montre elle aussi que le rayon réfléchi est dans le plan de propagation de l'onde primitive.

Il est certain que la lumière naturelle n'admet pas cette loi de réflexion. Elle ne saurait donc être constituée de vibrations transversales, Au contraire, dans l'hypothèse de vibrations longitudinales, la loi de réflexion dans un plan normal à l'obstacle s'explique d'elle-même, l'éther dans son mouvement contre l'obstacle suivant la loi ordinaire des chocs.

Quant à la lumière polarisée, si elle admet aussi la loi de réflexion dans un plan normal à l'obstacle, il nous faudra conclure aussi qu'elle ne peut être composée de vibrations exclusivement transversales. Il est à remarquer d'ailleurs qu'un mouvement vibratoire longitudinal d'une tranche d'éther doit être accompagné d'un mouvement transversal, la condensation dans la direction de la propagation devant vraisemblablement entraîner une certaine dilatation perpendiculairement et inversement.

Les vibrations longitudinales de la lumière naturelle permettent de donner un commencement d'explication du phénomène de la polarisation par réflexion et de la loi de Brewster, d'après laquelle le maximum de la polarisation est obtenu quand le rayon incident fait avec la normale au miroir un angle d'incidence i tel que $\operatorname{tg} i = n$, n étant l'indice de la substance du miroir.

Cette relation entraîne en effet la perpendicularité du rayon réfléchi et du rayon réfracté dans la substance du miroir. L'éther de la vibration longitudinale pénètre suivant ce dernier rayon dans la substance et, ne pouvant s'y déplacer en longueur, s'y étale dans le sens perpendiculaire au plan du rayon incident et du rayon réfracté, donnant ainsi une vibration transversale perpendiculaire au plan de polarisation qui est ici le plan d'incidence, et qui serait celle que transmet un rayon réfléchi.

On pourrait d'une façon analogue montrer que la réfraction polarise les vibrations longitudinales dans un plan perpendiculaire au plan d'incidence et qu'une loi, semblable à celle de Brewster, s'y applique. Il serait intéressant aussi de vérifier que le phénomène de Macaluzo et Corbino ne se produit qu'avec de la lumière polarisée, car ce serait un indice de différences plus profondes que ne le disait Fresnel qui existeraient entre la lumière naturelle et la lumière polarisée dont, d'un autre côté, il n'est pas établi expérimentalement qu'elles se propagent avec la même vitesse exactement.

Je ne sache pas que jusqu'ici d'ailleurs il ait été fourni d'explications satisfaisantes de l'extinction par un miroir, sous une incidence convenable, d'un rayon polarisé rectilignement. Un tel rayon, polarisé par réflexion sur un miroir M dans le plan d'incidence RMM′, étant reçu sur un second miroir M′, le rayon réfléchi une seconde fois a son intensité minimum quand les deux plans d'incidence RMM′ et MM′R′ sont rectangulaires, et il s'éteint quand l'incidence sur le second miroir est de 55°.

Le rayon réfléchi par le premier miroir MM′ est alors perpendiculaire à la trace M′A′ du premier plan d'incidence sur le second miroir. En effet, le plan RMM′ étant perpendiculaire à MM′R′ contient la perpendiculaire à ce plan en M′, laquelle est aussi perpendiculaire à la normale M′N′ au miroir. Elle est donc contenue dans le miroir. Et elle est aussi perpendiculaire à MM′. Les vibrations transversales qui sont contenues dans le plan d'incidence sur le second miroir rencontrent donc parallèlement la droite en question du second miroir. Si un fil conducteur est disposé suivant cette droite, elles pourront donner dans ce fil des émissions électriques, comme les vibrations longitudinales ont pu en donner elles aussi sur le miroir M pendant leur polari-

sation. L'énergie lumineuse ne doit donc pas apparaître comme détruite pendant la polarisation, ni pendant l'extinction du rayon polarisé. Elle doit apparaître comme transformée en énergie électrique ou calorifique.

IV. **Figuration des phénomènes électrostatiques.** — S'il est susceptible de compressions et de dilatations et s'il peut transmettre des vibrations longitudinales lumineuses, l'éther peut être considéré comme susceptible de transmettre des vibrations longitudinales dont la partie compression, par exemple, développe une force plus intense que la partie dilatation, ou inversement.

Imaginons un corps dont la surface est en vibration normalement à elle-même et qui soit tel que la résistance à la partie extérieure, par exemple, de la vibration soit moindre que la résistance à la partie intérieure. Les vibrations de cette surface créeront dans l'éther environnant un train de vibrations longitudinales dans lesquelles la demi-vibration comprimant l'éther jusqu'ici immobile y développera une force plus grande que celle que restituera l'éther dans la dilatation qui suivra. Appelons ces vibrations du nom de positives et le corps émetteur du nom de corps vibrant positivement; on imaginerait de même ce que peuvent être des corps vibrant négativement et des vibrations négatives.

Supposons que dans le champ d'un corps à vibrations positives, par exemple, se trouve un autre corps perméable à ces vibrations. Comme tout se passe comme si chaque point du champ était sollicité successivement, à chaque demi-longueur d'onde, par deux forces de sens différent et inégales, on comprend que la face du second corps tournée vers le premier va être animée de vibrations dont la demi-vibration dirigée vers l'intérieur du corps sera la plus intense, c'est-à-dire de vibrations négatives, tandis que l'autre face sera animée de vibrations positives représentant une énergie égale à celles des vibrations négatives. Il y aura une ligne neutre qui, si le premier corps est un point, sera la courbe de contact du cône circonscrit de ce point au second corps.

On reconnaît là la figure de l'influence électrique et l'on peut voir dans les vibrations inégales une figure de l'électricité statique, qui n'est d'ailleurs point contraire à l'existence des électrons.

On peut également voir dans ces vibrations la cause des tensions et des compressions de Maxwell. Il en résulte évidemment une sorte de pression de radiation.

V. **Figuration des ondes électromagnétiques.** — Ces ondes sont toujours polarisées. Elles transmettent une force électrique et une force magnétique perpendiculaires entre elles et à la direction de propagation. A un instant donné, sur la surface d'une telle onde ont donc lieu d'autres ondes du type électrique positif ou négatif, ou des mouvements du type magnétique; ces ondes secondaires se propagent, de même que les mouvements ont lieu, normalement à la direction de l'onde électromagnétique.

VI. **Figuration des phénomènes de la gravitation.** — Les corps matériels, tels que les astres, tendant à perdre continuellement de leur énergie interne, de leur chaleur en particulier, tendent à se contracter. Par suite de leur élasticité, il est à croire que cette contraction s'effectue par vibrations du type négatif que transmet ensuite l'éther par vibrations longitudinales négatives. On peut voir là une figuration de la gravitation. On s'explique l'attraction, la loi de l'inverse du carré des distances, la non application intégrale de la force suivant le mouvement du corps qui y est soumis. Le frottement de l'éther contre les corps célestes devrait ralentir leur mouvement ; mais ce frottement, transformé en énergie calorifique ou autre, augmenterait l'énergie interne, l'intensité des vibrations et l'attraction, de telle sorte qu'à chaque instant il y aurait compensation presque exacte entre le ralentissement dû au frottement et l'accélération due à l'augmentation de l'attraction. Par suite de la tension ou de la compression de l'éther réalisée par le genre de vibrations électriques ou gravifiques que nous sommes ainsi conduits à envisager, l'éther apparaît, dans son aspect macroscopique, comme recélant des pressions ou des tensions, ou, si l'on veut encore, comme présentant entre ses divers éléments des forces de cohésion. C'est ainsi qu'on retrouve comme résultat macroscopique une hypothèse par laquelle M. Sevin explique la gravitation. De la loi du carré des distances il serait possible, par une marche inverse de celle de M. Sevin, de déduire les valeurs de la tension de cet éther, et peut-être même ensuite, de la courbure de l'univers éther et de ses dimensions.

Au point de vue des études expérimentales, on doit penser que si l'attraction est due à des contractions par rayonnement, des dilatations de corps froids placés dans des enceintes à température élevée doivent produire des répulsions.

VII. **Masse de l'électricité.** — La force électrique étant de la nature d'une accélération, et son produit par une quantité d'électricité étant une force mécanique, la quantité d'électricité apparaît comme de la nature d'une masse mécanique. L'électricité et la matière seraient alors des condensations de l'éther à des degrés divers ou sous des formes diverses, la première étant intermédiaire entre la matière et l'éther, selon les idées du docteur Gustave Le Bon, et pouvant exister sans support matériel. La masse d'un corps matériel, que l'on n'a aucune raison de supposer variable avec la vitesse, varierait au contraire selon la quantité d'électricité qu'il supporterait (1).

Reprenons le calcul fait au paragraphe I pour l'ob-

(1) F. Prunier ; Attractions et répulsions en électricité et magnétisme. *Revue générale de l'Electricité*, 15 juin 1929, t. XXV, p. 929.

tention du second groupe des équations de Maxwell. Avec le système d'unités choisi, l'une des équations de ce groupe serait

$$\frac{\partial M}{\partial x} - \frac{\partial L}{\partial y} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial Z}{\partial t},$$

c étant la vitesse de la lumière.

Pour que l'équation trouvée au paragraphe I puisse se mettre sous cette forme, il faut que soit vérifiée la condition suivante, dite équation complémentaire, qui, dans nos idées, est la transcription de l'équation de continuité de l'hydrodynamique,

$$-\frac{1}{c^2}\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial G_1}{\partial x} + \frac{\partial G_2}{\partial y} + \frac{\partial G_3}{\partial z}.$$

Le potentiel vecteur représentant une vitesse, si ω est le volume d'un élément d'éther, on sait que la divergence de ce vecteur représente la vitesse de variation du volume élémentaire divisée par ce volume ; elle a donc la valeur $\frac{1}{\omega}\frac{\partial \omega}{\partial t}$. Supposons de plus que la composante G_3 du potentiel vecteur ne dépende pas du temps, de sorte que

$$Z = -\frac{\partial H}{\partial z}.$$

L'équation complémentaire donne alors

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial Z}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{1}{\omega}\frac{\partial \omega}{\partial t}\right) = \frac{\partial^2 \log_e \omega}{\partial z\, \partial t}.$$

Par suite

$$Z = \frac{c^2}{\omega}\frac{\partial \omega}{\partial z},$$

à une constante près.

La force électrique sera proportionnelle à la compression. La fonction potentielle sera $-c^2 \log_e \omega$. La masse ne variant pas, le volume de l'élément est inversement proportionnel à sa densité d'. La fonction potentielle peut donc être prise égale à $c^2 \log_e d'$, en désignant par d' une densité supérieure ou inférieure à la densité d de l'éther homogène, ou, si l'on veut, à $c^2 \log \frac{d'}{d}$. Si d' est voisin de d, cette expression est peu différente de $c^2 \frac{d' - d}{d}$. Le potentiel est donc bien alors sensiblement proportionnel à la différence $d - d'$ comme nous l'avons montré dans cette revue (1).

Par contre, si, par exemple, d' est nul, le potentiel est infiniment grand et négatif. C'est bien ce qu'il faut. Il est assez curieux de remarquer que nous arrivons ainsi à la conception de ce que peut être le vide d'éther. Dans une partie de l'espace où ce vide serait assez poussé, par suite de la présence d'un potentiel très grand et négatif, la lumière (2), si elle est bien une ondulation de cet éther, ne devrait pas se propager, ou ne devait se propager que difficilement. Il serait donc intéressant de faire passer un rayon lumineux dans une telle zone d'éther pour en observer les effets sur ce rayon. Une telle zone d'éther serait aussi un écran électrique ou gravifique parfait.

Rappelons que l'équation complémentaire est aussi la condition pour que des équations générales de propagation des ondes on puisse déduire les équations de Maxwell. Dans nos idées, son interprétation est la suivante : il faut pour que cette déduction soit possible, qu'il y ait mouvements d'éléments d'éther et compression de ces éléments.

Enfin, la densité d' étant proportionnelle au nombre n des particules d'éther qui occupent le volume ω, et la densité d, au nombre $\frac{N}{m}$ des particules qui occupent en moyenne un volume ω d'une enceinte composée de m cellules ω, on peut écrire, k étant une constante,

$$H = k \log_e n - k \log_e \frac{N}{m},$$

d'où, pour l'ensemble des m cellules de l'enceinte,

$$\sum_1^m nH = k \sum_1^m n \log_e n - kN \log_e N + kN \log_e m.$$

D'après la formule de Stirling, les deux premiers termes du second membre représentent, au signe et au coefficient k près, le logarithme de la probabilité thermodynamique P d'un état de l'éther. Si l'on pose

$$S = kN \log_e m - \sum_1^m nH,$$

on obtient la relation

$$S = k \log_e P.$$

On arrive ainsi à la notion et à la définition de l'entropie de l'éther. On en déduirait la loi de Maxwell et les lois de Wien et de Stefan. Les lois du rayonnement ne seraient donc que des lois de la thermodynamique de l'éther.

Notons aussi que, de même, les équations de l'hydrodynamique appliquées aux fluides parfaits suffiraient pour conduire à la notion et à la définition de l'entropie de ces fluides.

VIII. **Inertie de la lumière.** — Ce n'est pas seulement l'électricité que nous sommes conduits à considérer comme douée d'une masse newtonienne. La lumière naturelle a été envisagée comme composée de vibrations longitudinales, compressions et dilatations ; et la chaleur rayonnante pourrait sans doute être considérée ainsi également. Si on immobilise par la pensée à un instant donné un rayon de lumière, on le trouve composé d'une succession de groupes d'électrons alternativement positifs et négatifs, suivant qu'il y a com-

(1) F. Prunier. *Loc. cit.*, 15 juin 1929, t. XXV, p. 929.
(2) Et la gravitation, si elle se transmet par ondes.

pression ou dilatation. Chaque groupe est doué, étant de l'électricité, d'une masse positive ou négative. Dans la propagation, une même zone très petite d'éther est successivement attirée par un centre gravitationnel ou électrique quand elle est comprimée, puis repoussée, quand elle est dilatée par exemple. Or, on se rend compte qu'il ne doit pas y avoir compensation d'un instant à l'autre et qu'une action résultante a lieu. En effet, la zone étant composée de n particules de masse m situées à des distances r du centre d'action, l'attraction est $\sum_n \frac{m}{r^2}$; quand il y a répulsion, tous les r ont varié; la répulsion $\sum_n \frac{m}{r^2}$ n'a aucune raison d'être égale à l'attraction qui l'a précédée. Les particules sont légèrement déviées et la direction de propagation de l'onde change légèrement. Tout se passe donc comme si le rayon de lumière avait été influencé par le centre, c'est-à-dire comme si la lumière avait une masse.

Telle est une esquisse de la synthèse à laquelle peut conduire l'hypothèse d'un éther doué de la propriété de transmettre les vibrations longitudinales.

IX. **Mécanique ondulatoire.** — De même que nous avons tenté dans nos articles précités de faire disparaître l'antinomie existant entre la mécanique classique et celle de la relativité, de même il est important de surmonter celle qui existe entre l'optique ondulatoire et la théorie de l'émission par quanta. M. Louis de Broglie l'a tenté et l'a réussi, en faisant appel à la mathématique de la relativité pour mettre en œuvre le principe suivant :

« Chaque fois que dans un système de référence un élément matériel au sens le plus général du mot, fragment de matière ou énergie électromagnétique, possède une énergie w, il existe dans ce système un phénomène périodique de fréquence ν définie par la relation du quantum, $w = h\nu$, h étant la constante de Planck. »

Nous n'avons aucune raison de ne pas faire nôtre ce principe en tant qu'il s'applique aux phénomènes gravitationnels ou électromagnétiques.

Aux paragraphes précédents, en effet, nous avons admis que le champ de gravitation qui entoure un centre matériel est produit par un phénomène périodique constitué lui-même par des ondes longitudinales d'une nature spéciale dont la demi-vibration dirigée vers le centre développe dans le champ une force plus grande que l'autre demi-vibration. Quant à la fréquence de ce phénomène, nous trouvons dans l'interprétation que nous avons donnée dans un des articles précités (1) de l'effet Einstein sur le déplacement des raies dans le spectre solaire, d'ordre lumineux il est vrai, des raisons de croire qu'en effet la fréquence est proportionnelle à l'énergie de l'élément de matière. On pourrait en quelque sorte dire que l'effet Einstein est une vérification expérimentale du principe de L. de Broglie.

De la même façon, nous avons admis aux paragraphes précédents que le champ électrique était constitué par un phénomène périodique analogue. Evidemment les auteurs de la mécanique ondulatoire ne prononcent pas le mot d'éther. Il faut bien en retenir cependant que, si les ondes et les vibrations qu'ils admettent ne sont pas seulement des artifices de calcul, il y a un éther pour les propager.

L'équation réglant la propagation d'un phénomène périodique à demi-vibrations développant des forces égales serait de la forme suivante, pour un système d'axes au repos dans l'ensemble de l'éther

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} - \frac{1}{v^2}\frac{d^2\psi}{dt^2} = 0,$$

v désignant la vitesse de la propagation, ou encore

$$\Delta\psi + \frac{4\pi^2 n^2 v^2}{c^2}\psi = 0,$$

n étant un indice de réfraction.

Une solution de cette équation est l'onde monochromatique plane,

$$\psi = a\cos 2\pi\varphi,$$

avec la phase

$$\varphi = vt - \frac{nv}{c}(\alpha x + \beta y + \gamma z),$$

α, β, γ étant les trois cosinus directeurs d'une même direction.

Elle ne peut convenir aux vibrations que nous envisageons comme constituant le phénomène périodique gravitationnel ou électrique, puisque, dans l'aspect macroscopique des phénomènes elle ne ferait apparaître aucune force. L'équation de la propagation de ces vibrations doit être telle que si on en étudie les solutions par des procédés analogues à ceux de l'optique géométrique elle fasse apparaître une force et conduise aux équations générales de la mécanique newtonienne. L'équation suivante satisfait à cette condition :

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2}{h^2}(E - F)\psi = 0,$$

E et F désignant l'énergie et la fonction de forces du champ.

C'est l'équation fondamentale de la dynamique de Schrödinger. Nous sommes ainsi conduits à penser que les figurations que nous avons données des phénomènes de la gravitation et de l'électromagnétisme réalisent bien les propriétés des ondes de la mécanique ondulatoire et que l'équation de Schrödinger est l'équation de leur propagation.

Dans les articles rappelés ci-dessus, nous avons établi que la dynamique de la relativité généralisée pouvait être considérée comme un chapitre de la mécanique newtonienne, à savoir comme la mécanique newtonienne du champ de forces de la gravitation et que la dynamique de la relativité restreinte pouvait

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 7 février 1925, t. XVII, p. 207-213.

apparaître comme la dynamique newtonienne du champ électromagnétique, les formules et les calculs demeurant les mêmes et les langages employés pouvant se traduire en quelque sorte l'un dans l'autre.

Si l'on applique ce procédé au chapitre II de l'ouvrage de L. de Broglie qui a pour titre « Ondes et mouvements », on s'aperçoit que ce chapitre permet de faire correspondre aux éléments dynamiques du champ des éléments ondulatoires de l'onde qui le propage et l'entretient. En chaque point du champ, au vecteur impulsion I correspondra un vecteur onde O au sens de L. de Broglie. Il y aura pourtant une différence, et capitale. Au lieu que l'onde soit associée à un mobile en mouvement dans le champ, c'est à l'élément qui produit le champ qu'elle est associée.

A l'énergie W de l'élément qui constitue le centre est associée la fréquence ν de l'onde, telle que $W = h\nu$; à sa quantité de mouvement G est associée une vitesse V telle que $G = \frac{h\nu}{V}$; la vitesse v de l'énergie dans le champ et la vitesse V de l'onde ont entre elles la relation $vV = \gamma^2$, avec

$$\gamma = c\left(1 - \frac{2KM}{c^2 r}\right)^{\frac{1}{2}},$$

r désignant la distance du point envisagé à l'élément centre ; le principe de la moindre action appliqué au champ coïncidera avec le principe de Fermat appliqué à l'onde ; l'équation de l'optique géométrique appliquée à l'onde coïncidera avec l'équation de Jacobi ; la phase, avec la fonction de Jacobi.

Si l'on applique au chapitre III de l'ouvrage « Ondes et mouvements » le même procédé, on en conserve ausssi les résultats et notamment la formule de Lord Rayleigh au sujet des vitesses de groupe.

Quant au chapitre I, il concerne le mouvement avec la vitesse v d'un point en l'absence de champ gravifique et de champ électromagnétique. C'est alors le groupe de Galilée, et non celui de Lorentz, ni les formules de relativité généralisée, qui doit être employé.

Les calculs se maintiennent, en remplaçant simplement $\beta = \frac{v}{c}$ par zéro. Le point matériel peut bien apparaître comme environné d'une onde stationnaire. Le principe de Maupertuis continuera notamment à se confondre avec le principe de Fermat, la phase de l'onde continuant à être proportionnelle à l'action.

Avec le chapitre IV de « Ondes et Mouvements », nous retrouverons déductivement par les mêmes procédés les conditions de stabilité des orbites des électrons posées d'abord arbitrairement par Bohr et le théorème de correspondance de Bohr. Nous avons expliqué dans l'un de nos articles (1), comment, ces conditions de stabilité étant admises, la dynamique construite par nous du champ électromagnétique, qui emploie les formules de Lorentz, rendait compte des résultats expérimentaux concernant la structure des raies de l'hydrogène et le spectre des rayons X.

(1) *Loc. cit.*, 7 février 1925.

Mais c'est surtout la représentation possible par l'équation de Schrödinger de l'onde de force à demi-vibrations d'inégale intensité qui est à retenir. C'est avec elle qu'il est le plus facile de voir que c'est au champ, et non pas directement au mobile en mouvement dans ce champ, que l'onde doit être associée.

Il semble qu'on puisse alors admettre, sans que cela soit trop choquant, l'existence des deux vitessess v de l'énergie et V de la phase, puisqu'il y aurait deux demi-vibrations de longueurs inégales et cependant seulement une seule fréquence.

La mécanique ondulatoire ainsi basée sur l'équation de Schrödinger retrouvée de la sorte est-elle plus générale que la mécanique newtoniene ?

Je ne le crois pas. Tout d'abord elle ne s'appliquerait qu'aux champs agissant par le moyen des ondes spéciales imaginées plus haut pour rendre compte des phénomènes électrostatiques et gravitationnels. Or, on ne saurait prétendre que de tels champs sont l'origine de toute force.

Dans l'aspect macroscopique, elle obtient les mêmes résultats que la dynamique newtonienne. On peut étudier, d'une part, directement à l'aide du potentiel newtonien brut (ou du potentiel newtonien corrigé selon un de nos articles précités (1) pour tenir compte de la non-application intégrale de la force sur un mobile en mouvement dans le champ, ce qui équivaut à tenir compte du potentiel einsteinien), l'effet d'un champ gravifique sur un mobile de grandes dimensions par rapport à la longueur d'onde du champ ; on peut l'étudier directement, d'autre part, sur les solutions de l'équation de Schrödinger ; on trouvera par les deux méthodes les mêmes résultats si l'on en reste à l'aspect macroscopique.

Si, dans la dynamique de l'électron, la méthode de Schrödinger conduit à des résultats qui concordent un peu mieux avec l'expérience que ceux qu'obtiendrait la dynamique classique avec l'un ou l'autre potentiel, cela doit tenir uniquement à ce que les dimensions de l'électron sont petites par rapport à la longueur d'onde ; le potentiel véritable du champ, sur cet électron, est alors un potentiel périodique, et non pas le potentiel newtonien brut ou corrigé. Je tiens pour certain, bien que je ne puisse le prouver, que si l'on traitait par la dynamique classique le cas d'un tel potentiel périodique, on obtiendrait des résultats tout à fait conformes à ceux qu'on tire de l'équation de Schrödinger quand on en étudie directement les solutions. L'intérêt de la méthode de Schrödinger serait donc de conduire à des résultats microscopiquement exacts en employant un potentiel F macroscopiquement exact, mais microscopiquement inexact à chaque instant à l'échelle de l'électron. De même avons-nous reconnu que l'intérêt de la loi $\delta \int ds = 0$ d'Einstein était de conduire à des résultats exacts en employant pour un mobile en mouvement dans le champ un potentiel gravifique identique à celui qui serait valable pour un point immobile dans

(1) *Loc. cit.*, 18 juillet 1925.

ce champ, alors qu'en réalité, ce potentiel dépendrait de la vitesse du mobile dans le champ.

La dynamique classique demeure exacte dans les deux cas. Il suffit de lui fournir, pour remplir la forme vide de ses équations, les valeurs convenables des potentiels.

De la sorte, l'expression « mécanique ondulatoire » paraît fâcheuse ; elle tendrait à faire croire, en effet, qu'il s'agit d'une mécanique basée sur des principes autres que ceux de la dynamique classique, alors qu'en réalité, il y a lieu de croire que ce n'est pas d'une question de principes qu'il s'agit, mais seulement d'une question de potentiels : potentiels macroscopiques et stables d'un côté, potentiels microscopiques et ondulatoires de l'autre.

Du point de vue expérimental, si nos conceptions sont exactes, deux centres électrostatiques identiques doivent donner des interférences suivant la droite qui les joint ; un électron en repos dans une des zones d'interférences n'y doit pas subir d'action résultante de la part des deux champs, même si cette zone est loin de la position d'équilibre correspondant à la loi macroscopique de Coulomb.

X. **Théorie des quanta.** — Si des phénomènes gravifiques ou électromagnétiques nous passons aux phénomènes lumineux, nous voyons bien encore la possibilité d'énoncer un principe disant qu'un élément qui émet de la lumière l'émet avec une fréquence ν telle que son énergie étant W, on ait $W = h\nu$. Mais cette lumière est-elle émise par grains comme le veut la théorie des quanta de lumière?

La théorie des quanta de lumière soulève plusieurs difficultés, mais je ne vois guère que celle que je vais signaler qui soit vraiment de nature à la mettre en défaut. On sait que c'est des expériences prouvant que la lumière se propage moins vite dans l'eau que dans l'air que les partisans de la théorie des ondulations ont tiré principalement la condamnation de l'hypothèse de l'émission. La théorie des quanta étant un retour à cette hypothèse, les auteurs de la mécanique ondulatoire ont bien vu qu'il leur était nécessaire d'établir, à l'aide de cette mécanique, que la propagation de la lumière dans un milieu réfringent tel que l'eau était réglée par la même loi que dans la théorie des ondulations.

Or, disent-ils, si l'on écrit le principe de Maupertuis sous la forme suivante, en l'appliquant entre deux points A et B de la trajectoire,

$$\delta \int_A^B \frac{h\nu}{c} n\,dl = 0, \qquad \text{(a)}$$

on constate une fois de plus qu'il est analogue au principe de Fermat $\delta \int^B n\,dl = 0$, dl désignant un élément de la trajectoire de la lumière.

La théorie de la mécanique ondulatoire des quanta ne peut donc pas donner un autre résultat que la théorie des ondulations pour la propagation dans le milieu en question.

Mais ce raisonnement n'est pas convaincant. La forme générale du principe de Maupertuis est la suivante :

$$\delta \int_A^B G\,dl = \delta \int_A^B mv\,dl, \qquad \text{(b)}$$

G désignant la quantité du mouvement du mobile, le quantum de lumière en l'espèce, dont m est la masse et v, la vitesse dans le milieu, vitesse qui serait sensiblement égale à $\frac{c}{n}$ si le milieu est peu dispersif comme l'est d'ailleurs l'eau.

On peut assez facilement calculer, comme le fait l'un de ces auteurs, que

$$G = \frac{h\nu}{c^2} \frac{d(n^2\nu^2)}{d\nu^2} v,$$

ou, si le milieu est peu dispersif, $G = n^2 h\nu$.

On en déduit pour m la valeur

$$m = \frac{h\nu}{c^2} \frac{d(n^2\nu^2)}{d\nu^2},$$

et comme $h\nu = W$, on voit que l'on devrait avoir

$$m = \frac{d(n^2\nu^2)}{d\nu^2} \frac{W}{c^2}.$$

C'est d'ailleurs bien au même résultat que l'on arriverait en comparant les deux expressions (a) et (b) du principe de Maupertuis ; pour un milieu peu dispersif, on aurait

$$\frac{nh\nu}{c} = m\frac{c}{n},$$

d'où

$$m = \frac{n^2 h\nu}{c^2} = \frac{Wn^2}{c^2}.$$

Or, cela paraîtra impossible à tous les physiciens (1).

Et, de plus, aux partisans de la théorie de la relativité on pourra faire observer que c'est un résultat fondamental de cette théorie que $m = \frac{W}{c^2}$. Y renoncer serait renoncer aux formules de Lorentz et, par le fait, à la théorie elle-même. Car les formules de Lorentz ne pourraient conduire à la valeur ainsi trouvée pour m qu'à condition d'y remplacer la vitesse c de la lumière dans le vide par la vitesse $\frac{c}{n}$ de la lumière dans le milieu, et à condition encore que ce milieu soit peu dispersif. Or, si c'est là une chose qu'il nous est possible d'admettre, à cause de la manière dont nous avons obtenu ces formules dans notre article du 7 février 1925,

(1) Voir notamment R. Ferrier ; Sur l'électrodynamique : théorie classique, développement moderne. *Revue générale de l'Electricité*, 4 mai 1929, t. XXV, p. 677. L'auteur rejette une relation analogue $p = (1 + 4\pi k)\frac{W}{c^2}$ en électromagnétisme.

si c'est même pour nous une chose vraisemblable, il n'en est pas moins certain que c'est absolument inadmissible en relativité.

On pourrait, il est vrai, retrouver pour m la valeur voulue par la relativité, en admettant dans le principe fondamental de la mécanique ondulatoire que

$$W = h\nu \frac{d(n^2\nu^2)}{d\nu^2},$$

mais cela serait au prix d'inconvénients encore plus graves.

Il faut donc conclure que, dans son état actuel et sous la forme où elle est présentée, la mécanique ondulatoire des quanta échoue là même où a échoué définitivement la théorie de l'émission.

D'ailleurs la théorie des quanta n'est pas indispensable. Pour s'en rendre compte il suffit de considérer que tous les phénomènes où on en voit des preuves ne font intervenir que des chocs contre des obstacles. Si l'on constate un choc rien n'autorise à conclure de ce seul fait que le projectile vient d'une certaine distance. On peut aussi bien admettre qu'il provient du voisinage immédiat de l'obstacle. Or, nous avons admis l'existence de vibrations longitudinales pour la lumière naturelle ; les particules d'éther qui vibrent au voisinage de l'obstacle peuvent, par leurs chocs, jouer intégralement le rôle des quanta supposés émis par la source lumineuse. Tout phénomène qui s'explique par l'existence de ces quanta de lumière s'expliquera aussi bien par l'existence des ondulations longitudinales de la lumière. D'ailleurs des ondulations purement transversales — de la lumière polarisée par conséquent — produiraient aussi des chocs, mais alors dans le sens de la vibration, c'est-à-dire perpendiculairement à la direction de propagation ; les effets en seraient sans doute moins importants.

Il est bien certain aussi que, si cette conception est la bonne, les ondes électrostatiques et gravifiques, les mouvements magnétiques de l'éther, doivent produire des phénomènes parents de ceux produits par les quanta.

Les résultats expérimentaux qui servent de soutien à la théorie des quanta sont d'abord ceux qui ont trait au rayonnement du corps noir, puis l'effet photoélectrique, l'effet Compton, la diffraction des électrons par les cristaux.

La première chose à faire est de rendre compte de l'existence de la pression de radiation de la lumière. Dans le parcours libre d'une onde lumineuse longitudinale chaque tranche d'éther étant alternativement comprimée et dilatée par deux demi-vibrations égales, l'énergie moyenne de cette tranche est indiscernable par les procédés actuellement employés.

Mais elle devient discernable, théoriquement et d'ailleurs aussi expérimentalement, dans le cas de la réflexion contre un obstacle.

Considérons un faisceau cylindrique de lumière naturelle de fréquence ν tombant sur un miroir plan réflecteur parfait, suivant l'incidence normale. Lors de chaque demi-vibration de compression par exemple, n particules incidentes frappent le miroir par unité de surface, produisant sur le miroir une impulsion ; lors de chaque demi-vibration de dilatation, n particules déjà réfléchies le frappent aussi, produisant une impulsion qui s'ajoute à la précédente. Lors de chaque vibration, ont donc lieu $2n$ chocs par unité de surface.

Si $\frac{h}{2}$ est l'énergie que produit sur le miroir la réflexion d'une particule, l'énergie fournie au miroir par la vibration entière est par unité de surface nh et, comme ceci a lieu ν fois par seconde, l'énergie fournie en une seconde est $nh\nu$; d'où il suit que chacune des particules d'éther peut être considérée comme douée par la vibration de l'énergie $h\nu$, qu'elle rayonne lors de la réflexion.

Si Newton avait connu ce phénomène, dit M. de Broglie, il l'eût considéré comme une preuve particulièrement frappante de l'exactitude de ses conceptions. En réalité, l'ondulation longitudinale donne ici le même résultat que l'émission.

L'énergie lumineuse peut être, en conséquence, considérée comme formée de grains de valeur $h\nu$.

Un rayonnement polarisé dont la vibration aurait une composante normale au miroir produirait aussi une pression de radiation sur le miroir ; mais, très probablement, cette pression n'aurait pas la même valeur que celle du rayonnement à vibrations longitudinales.

Un rayonnement lumineux à vibrations rigoureusement transversales et parallèles au miroir ne devrait produire aucune pression de radiation sur ce miroir. Un rayonnement électromagnétique continuerait sans doute à en produire à cause des compressions développées par la force électrique.

La formule photoélectrique d'Einstein, vérifiée dans les domaines des rayons lumineux, des rayons X et γ, s'interprète immédiatement par le choc de grains d'éther, d'énergie $h\nu$, en vibration contre les électrons des atomes, au lieu de chocs de quanta de lumière, d'énergie $h\nu$ en mouvement vers ces électrons.

Dans le phénomène de Compton — diffusion avec changement de longueur d'onde — décrit aussi comme choc d'un quanta de lumière et d'un électron de masse m_0, on peut, de la même manière, faire intervenir le grain d'éther en vibration lumineuse et l'électron. Soit ν_1 la fréquence de vibration de ce grain avant le choc ; supposons l'électron en repos au moment du choc et appelons θ l'angle dont sera dévié le grain d'éther par le choc ; le principe de conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement nous donnera quatre équations d'où nous tirerons la fréquence finale ν_2

$$\nu_2 = \nu_1 \frac{1}{1 + \frac{h\nu_1}{m_0 c^2} \sin^2 \frac{\theta}{2}};$$

c'est la formule vérifiée par l'expérience.

Quant aux expériences montrant la diffraction des

électrons par les cristaux, nous pouvons aussi parfaitement traduire dans le langage de nos conceptions la théorie qu'en donnent les auteurs de la mécanique ondulatoire (voir par exemple l'ouvrage de Louis de Broglie intitulé « Introduction à l'étude de la mécanique ondulatoire » au chapitre VII).

Dans nos idées, un électron développe autour de lui une onde du type électrostatique. L'ensemble des électrons d'un nuage dirigé sur un cristal développe une onde résultante du même type accompagnant le flot.

L'intensité de l'onde, variable selon les points, passe par un maximum en chaque point où se trouve un électron ; elle peut servir de mesure, en chaque point, à l'éloignement des électrons du nuage ; elle peut définir la probabilité de présence des électrons en chaque point.

C'est là le principe que les auteurs de la mécanique ondulatoire appellent le principe des interférences. En possession de ce principe et de l'équation de Schrödinger, nous pouvons reproduire intégralement les théories qu'ils donnent des expériences de Davisson et Germer, G.-P. Thomson ou M. Ponte.

Cependant il est une observation qui s'impose et qui va nous empêcher de voir dans cette transposition du raisonnement de la mécanique ondulatoire une explication valable de la diffraction des électrons par les cristaux.

Nous n'avons pas de moyens de nous prononcer sur la longueur d'onde ni sur la période de l'onde qu'émettrait ainsi l'électron en repos dans l'éther ; ni sur la longueur de l'onde qui l'accompagnerait dans son mouvement dans l'éther avec une vitesse v vers le cristal ; ni sur la vitesse de propagation de ces ondes. Mais l'expérience indique que les ondes diffractées ont des longueurs d'onde de

$$l = \frac{h}{m_0 v}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

ou même

$$l = \frac{1}{n}\,\frac{h}{m_0 v}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

n étant un nombre entier.

C'est dire que si la vitesse relative du flot d'électrons et du cristal était nulle, il n'y aurait pas de diffraction des électrons ; c'est d'ailleurs bien évident, puisqu'ils n'atteindraient pas le cristal ; or les ondes qu'ils émettent se propagent certainement dans l'éther du vide avec une vitesse au moins égale à c ; elles atteindraient donc le cristal et devraient être diffractées. On est donc conduit à penser que ce ne sont pas ces ondes-là dont on constate expérimentalement la diffraction. Je crois, pour ma part, avec M. Sevin, que la diffraction en question est celle d'une onde de Fresnel produite par le choc des électrons sur le cristal ; cette onde se propage sans doute avec la vitesse c dans le vide ; sa période doit être alors

$$\frac{h}{m_0 v c}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

au lieu que si c'était l'onde de force qui accompagne l'électron, dont je crois aussi qu'elle existe, nous n'avons aucune raison d'admettre que la période doive avoir cette valeur. D'après la mécanique ondulatoire, la période de l'onde diffractée serait

$$\frac{h}{m_0 c^2}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

M. Sevin demande à juste titre que des expériences soient faites pour renseigner sur ce point crucial. Elles pourront, si elles donnent la première valeur de la période, constituer une présomption de plus en faveur de l'origine de l'onde diffractée par le choc des électrons sur les cristaux, mais n'imposeront pas nécessairement de conclure à l'inexistence de l'onde de force électrostatique de l'électron, qui doit se manifester par une influence électrostatique dans le cristal métallique.

Ainsi aboutissons-nous à montrer que les ondes et vibrations lumineuses sont ce qui donne naissance aux quanta lumineux qui n'auraient pas dès lors d'existence propre.

Si l'éther est, comme nous l'avons admis, un milieu formé de particules pouvant être suivies dans le temps, l'énergie d'un agrégat d'éther peut, si elle est cinétique, se représenter par $1/2\,\Sigma m v^2$, m et v désignant les masses et vitesses des particules par rapport à l'éther ambiant ; si elle est potentielle, c'est une énergie de pression.

L'énergie de la première sorte peut varier de deux façons : soit que v varie, nous n'avons alors, philosophiquement, mathématiquement et physiquement parlant, pas de raison d'admettre que la variation de l'énergie d'éther envisagé soit discontinue ; soit que Σm varie, c'est-à-dire que des particules nouvelles viennent s'agréger au premier noyau ou s'en détacher, nous comprenons alors le plus simplement du monde, que la variation doit être discontinue et s'effectuer par quanta.

Dans le cas de l'énergie de pression on raisonnerait de la même manière. Si c'est le volume qui varie, la variation sera continue pour l'énergie ; si c'est le nombre des particules qui varie, elle sera discontinue.

C'est donc, si l'éther existe et si ce que nous avons dit plus haut sur la nature des diverses formes physiques de l'énergie — électricité statique, lumière, chaleur rayonnante aussi sans doute — est exact, c'est donc abusivement que l'on prétendrait que toute forme d'énergie n'est susceptible de varier que par quanta.

XI. **Nature de l'énergie**. — Il est une autre antinomie dont nous entrevoyons le moyen de triompher. C'est avec une certaine répugnance que beaucoup d'esprits plus ou moins versés dans les spéculations scientifiques ont vu concéder à l'énergie des propriétés dont ils étaient accoutumés à voir doter la matière seulement, telles que la pesanteur, l'inertie, la structure discontinue :

L'énergie leur paraissait — et paraît encore au sens commun — quelque chose d'abstrait pour ainsi dire. Ce divorce entre le sens commun et la science a ses inconvénients et lui aussi serait à réduire.

Or, en dernière analyse, ces formes d'énergie concrète nous paraissent seulement composées de particules d'éther, douées d'énergie abstraite si je peux dire, puisque ce serait de l'énergie de mouvement ou de pression.

Le concept de pure énergie reprendrait bien ainsi son sens classique.

F. PRUNIER.

Revues, analyses et informations

Les nouvelles théories de la dissociation électrolytique (1).

1. INTRODUCTION. — La théorie de la dissociation électrolytique, formulée pour la première fois d'une façon complète par Arrhenius, en 1887, s'était montrée insuffisante dans certains cas, notamment dans la détermination quantitative du comportement des électrolytes forts. Les essais de divers expérimentateurs en vue de l'adapter ont abouti, ces dernières années, à la théorie de l'attraction « interionique », due à Debye et Huckel, qui la complète.

Après que Faraday, en 1833, eut formulé ses deux grandes lois de l'électrolyse, Hittorf s'est demandé quelles étaient les vitesses des divers ions (cations et anions) dont on avait été conduit à admettre l'existence pour interpréter ces lois. Par la mesure des variations de concentration, se produisant autour de chaque électrode par le passage d'une quantité connue d'électricité, il détermina les deux rapports

$$n = \frac{U}{U+V} \quad \text{et} \quad n-1 = \frac{V}{U+V}$$

communément appelés nombres de transport du cation et de l'anion, U et V étant respectivement les mobilités des ions positifs et des ions négatifs (dans le même rapport que leurs vitesse). Puis F. Kohlrausch découvrit une relation entre la conductivité électrique et le nombre de transport des solutions ionisées. La conductivité spécifique x est égale à

$$x = \frac{96\,500\,\alpha C\,(U+V)}{1\,000},$$

C étant la concentration de la solution en équivalents par litre et α la fraction ionisée à cette concentration (la solution contenant alors $\frac{\alpha C}{1\,000}$ équivalents d'anion et autant de cation par centimètre-cube).

La conductivité équivalente ou moléculaire Λ étant

$$\Lambda = x\,\frac{1\,000}{c},$$

en posant

$$u = 96\,500\,U \quad \text{et} \quad v = 96\,500\,V,$$

on obtient la relation suivante vérifiée sur de nombreux sels par Kohlrausch,

$$\Lambda = \alpha\,(u+v). \qquad (1)$$

2. LA THÉORIE D'ARRHENIUS. — On supposait jusqu'alors que, dans toute solution d'électrolyte, une partie de la substance dissoute existait à l'état ionisé ; les radicaux acides et basiques chargés du corps dissous étaient considérés comme faiblement combinés dans une petite fraction de molécules « actives » et susceptibles à un certain moment de se transporter librement dans un champ électrique.

Mais Arrhenius, après avoir comparé la conductibilité de divers acides avec leur activité chimique aboutit à la conclusion que les acides minéraux sont presque complètement actifs, c'est-à-dire dissociés en leurs ions, et énonça sa théorie dont les trois propositions fondamentales sont les suivantes :

1° Quand un électrolyte se dissout, il se dissocie en ions, et dans beaucoup de cas la dissociation est presque complète ;

2° Le degré de dissociation de l'électrolyte dépend de la concentration de la solution et augmente avec la dilution, de sorte qu'à une dilution infinie la dissociation serait complète ;

3° La fraction de sel ionisé peut être calculée au moyen des mesures de conductivité.

D'après Arrhenius, pour une dilution infinie, l'équation (1) deviendrait ($\alpha = 1$)

$$\Lambda_0 = u + v, \qquad (2)$$

et alors

$$\frac{\Lambda}{\Lambda_0} = \alpha, \qquad (3)$$

rapport permettant de déterminer le degré de dissociation d'un électrolyte.

D'autre part, en introduisant les valeurs des nombres de transport dans l'équation (2), on obtient

$$u = n\Lambda_0 \quad \text{et} \quad v = (1-n)\,\Lambda_0, \qquad (4)$$

relations déterminant les mobilités des ions d'après les nombres de transport et les conductivités.

Ce qui précéde s'applique aux électrolytes binaires monovalents, mais on peut établir des équations analogues pour les électrolytes polyvalents.

De la théorie d'Arrhenius et de l'application de la loi d'action de masse à un électrolyte partiellement dissocié, découla la loi de dilution d'Ostwald

$$\frac{\Lambda^2 C}{\Lambda_0\,(\Lambda_0-\Lambda)} = K, \qquad (5)$$

K devant être une constante.

Mais en essayant cette relation pour des valeurs de la conductivité s'étendant sur un grand intervalle de concentrations, elle ne fut vérifiée que tant que l'électrolyte n'était que faiblement ionisé : elle ne s'appliquait plus aux solutions des sels communs (substances pour lesquelles

$$\frac{\Lambda}{\Lambda_0} \simeq 1.$$

(1) Louis BRUNET. *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 15-31 août 1930, t XLI, p. 461-470, 6 500 mots.

Pour les électrolytes faibles la théorie d'Arrhenius semblait donc confirmée alors qu'elle était en défaut pour les sels et pour d'autres électrolytes forts.

3. Les nouvelles théories. — Elles découlèrent de la notion d'*activité* introduite en chimie physique par G.-N. Lewis (1), suivant laquelle l'activité d'une substance est une fonction thermodynamique dérivée de l'énergie libre et pouvant être définie d'une façon relative par l'équation

$$F_1 - F_2 = RTn\frac{a_1}{a_2} \qquad (6)$$

dans laquelle F_1 et a_1 sont respectivement l'énergie moléculaire libre et l'activité correspondante de la substance à un état donné; F_2 et a_2, les mêmes valeurs à un autre état; T, la température absolue; R la constante des gaz parfaits.

D'autre part, le *coefficient d'activité* γ est défini par le rapport de l'activité ionique moyenne a_m et de la concentration moléculaire m de l'électrolyte,

$$\gamma = \frac{a_m}{m}.$$

Après Milner, qui énonça une théorie de dissociation complète des électrolytes forts en solutions allant presque jusqu'à la concentration normale, Debye et Huckel (2) émirent celle de l'attraction interionique qui fut définitivement adoptée par la plupart des savants.

La théorie de l'attraction interionique met en lumière et explique le fait, déjà énoncé par Lewis, que l'épaisseur de l'atmosphère ionique de charge moyenne, entourant chaque ion, doit être proportionnelle à la racine carrée de la concentration si les forces principales qui agissent entre les ions sont les forces ordinaires de Coulomb. Soit un élément de volume relié à l'ion par une droite de telle sorte que, pendant le mouvement, la direction de cette ligne dans l'espace et sa longueur ne varient pas. En prenant l'intégrale de la charge de l'élément par rapport au temps et en la divisant par la durée de l'observation, on obtient la charge moyenne de l'élément de volume. La densité de l'atmosphère ionique s'obtient en divisant cette charge moyenne par le volume de l'élément. Si on ne tient compte que des forces de Coulomb la densité de l'atmosphère ionique sera de signe opposé à la charge de l'ion central et augmentera en se rapprochant du centre.

Dans certaines conditions limites il est possible de démontrer que le facteur caractéristique dans l'expression qui représente la diminution de la densité avec la distance est l'exponentielle $e^{-\chi n}$; χ a la dimension de l'inverse d'une longueur et est donné par l'expression

$$\chi^2 = \frac{4\pi}{DkT}\Sigma n_i l_i^2,$$

D étant la constante diélectrique du solvant; k, la constante de Boltzmann ($1{,}37\times10^{-16}$); T, la température absolue; N_i le nombre d'ions d'espèce i dans un centimètre cube; l_i la charge de chaque ion d'espèce i.

De ces principes, Debye et Huckel ont établi, pour le coefficient d'activité d'un ion, l'équation suivante

$$\log f = -\frac{l^2}{2DkT}\frac{\Sigma\nu_i z_i^2}{\Sigma\nu_i}\sqrt{\frac{4\pi l^2}{DkT}\Sigma n_i z_i^2}, \qquad (7)$$

où f est le coefficient d'activité de l'ion; e, la charge d'un ion monovalent; ν_i, le nombre d'ions d'espèce i formé par la dissociation d'une molécule; n_i, le nombre de ces ions dans un centimètre cube; z, leur valence.

Cette équation s'applique aux solutions très diluées; si on l'applique au coefficient d'activité d'un électrolyte fort elle devient

$$\log f = -0{,}346\, z_1 z_2 \sqrt{\Sigma cz} \qquad (8)$$

où c est la concentration équivalente et z, la valence de chaque ion présent.

De l'équation (8) découlent trois conclusions très importantes. Aux grandes dilutions : 1° le coefficient d'activité est indépendant des propriétés individuelles des ions sauf de leurs valences; 2° $\log f$ est proportionnel à la racine carrée de la concentration; 3° les coefficients d'activité dépendent des valences des ions présents, de la manière indiquée par l'équation précitée.

Ces conclusions furent confirmées par les recherches de divers expérimentateurs : il semble donc bien que les variations d'activité, en solution très diluée, ne dépendent que des effets des forces interioniques et que, par conséquent, les électrolytes forts sont complètement dissociés.

Debye et Huckel avaient appliqué à la conductibilité des électrolytes forts les méthodes qui avaient servi à l'étude de leur activité. Puis Onsager (1) arriva à la détermination de l'équation suivante plus correcte pour la valeur limite de la conductibilité d'un électrolyte

$$\Lambda = \Lambda_0 - \left[\frac{0{,}986\times10^6}{(DT)^{\frac{3}{2}}}w\Lambda_0 + \frac{29}{(DT)^{\frac{1}{2}}\eta}(z_1+z_2)\right]\sqrt{(z_1+z_2)c}, \qquad (9)$$

avec

$$w = z_1 z_2 \frac{2q}{1+\sqrt{q}}$$

et

$$q = \frac{z_1 z_2 (\Lambda_{01}+\Lambda_{02})}{(z_1+z_2)(z_2\Lambda_{01}+z_1\Lambda_{02})},$$

η étant la viscosité de l'ion; Λ_{01} et Λ_{02} les mobilités du cation et de l'anion à concentration nulle.

Pour un électrolyte binaire, l'équation (9) se simplifie, car

$$z_1 = z_2, \quad q = \frac{1}{2} \quad \text{et} \quad w = 0{,}5858\, z^2;$$

d'où

$$\Lambda = \Lambda_0 - \left(\frac{5{,}78\times10^5}{(DT)^{\frac{3}{2}}}z^2\Lambda_0 + \frac{58z}{(DT)^{\frac{1}{2}}\eta}\right)\sqrt{2zc}. \qquad (10)$$

4. Vérifications expérimentales des nouvelles théories. — L'équation d'Onsager ne s'appliquant qu'aux substances complètement dissociées, si, à une dilution suffisante, on porte, pour celles-ci, en ordonnées les conductibilités et en abscisses les valeurs de $\sqrt{c}$, on obtiendra des droites. Si la dissociation est incomplète, l'inclinaison trouvée sera plus grande que l'inclinaison théorique et s'en approchera jusqu'à se confondre avec elle à mesure que la dilution augmente.

(1) Lewis et Randall. *Thermodynamics.*

(2) Debye et Huckel. *Physikalische Zeitschrift*, 1923, t. xxiv, p. 185.

(1) Onsager. *Physikalische Zeitschrift*, 1926, t, xxvii, p. 388 et 1927, t. xxviii, p. 277.

De plus, l'écart entre la conductivité mesurée et celle calculée augmentera avec la concentration et permettra de calculer la constante de dissociation de l'électrolyte.

Ces déductions ont été vérifiées expérimentalement par Kohlrausch et Weiland.

Pour les électrolytes divalents en solution dans l'eau, Davies a vérifié la constance de la constante de dissociation K pour des valeurs de la concentration moléculaire allant de 0,0001 à 0,001.

On peut donc, grâce à la théorie de l'attraction interionique, expliquer d'une façon complète les variations de conductivité, en solutions très diluées, qui dépendent de deux facteurs : la variation de mobilité, prévue par l'équation d'Onsager et le degré de dissociation, qui varie suivant la loi d'action de masse.

A des concentrations plus élevées, certains facteurs tels que la viscosité deviennent importants. Plusieurs savants ont cherché à exprimer les variations de conductivité sur un assez grand intervalle de concentrations. L'ensemble des résultats obtenus peut être empiriquement représenté par une extension de l'équation d'Onsager

$$\Lambda \sqrt{\eta} = \Lambda_0 - (0{,}2238\ \Lambda_0) + 51{,}49)\ f(c), \qquad (11)$$

où $f(c)$ a une valeur variable avec la concentration. — M. R.

La colonne positive uniforme d'une décharge électrique dans la vapeur de mercure (1).

1. Etat électrique d'un gaz ionisé. — Il est évident que l'état électrique d'un gaz ionisé est entièrement déterminé si l'on connaît la distribution des ions et des électrons qui s'y trouvent et leurs distributions de vitesses, en chaque point du tube à décharge. En effet, à partir des densités des électrons n_e, des ions positifs n_p et des ions négatifs n_n, on peut déterminer au moyen de l'équation de Poisson les variations du champ électrique; une intégration simple donne alors le champ en un point quelconque et une intégration double le potentiel en un point quelconque. Les conditions aux limites nécessaires sont données par les potentiels des électrodes et parois du tube et les intensités de courant correspondantes. Les densités de courant dues au passage des électrons et des ions, I_e, I_p et I_n peuvent être déterminées dans une direction quelconque, en tout point, à partir des densités des électrons et des ions et aussi des lois qui régissent leurs distributions de vitesses. Il est dès lors aisé de comprendre pourquoi le comportement de quelques décharges est si complexe, puisque chaque variable peut se modifier dans le temps comme dans l'espace.

2. Considérations théoriques sue le mécanisme de la décharge. — Pour obtenir une idée générale du mécanisme de la décharge, il est indiqué de s'adresser au mode de décharge le plus simple possible. Dans la colonne positive, les conditions dépendent avant tout de la pression et de la nature du gaz et de l'intensité du courant, et non de la nature ni de la position des électrodes et des parois du tube. Si, de plus, on étudie la colonne positive dans un long tube cylindrique, les conditions ne seront pas seulement les mêmes suivant sa longueur, mais, en l'absence d'un champ magnétique transversal, elles admettront encore la symétrie radiale. C'est dans ces conditions que l'auteur étudie la colonne positive d'un arc au mercure en utilisant la méthode de la sonde électrique de Langmuir.

Le type le plus commun de distributions de vitesses qui se produise dans la nature est celui connu sous le nom de distribution maxwellienne ou désordonnée. Langmuir a montré, par une analyse des caractéristiques de tension et courant de petites électrodes dans la colonne positive d'une décharge, que les électrons libres s'y meuvent avec une distribution maxwellienne des vitesses dans des directions presque désordonnées. Une petite électrode placée dans la décharge repoussera les électrons avoisinants et recueillera les ions positifs, si elle est chargée négativement. Les électrons d'énergie supérieure à Ve, où V est la différence de potentiel entre l'espace considéré et le collecteur et e, la charge de l'électron, peuvent cependant atteindre le collecteur. Lorsque V décroît, on recueille un plus grand nombre d'électrons plus lents. Du fait que ces électrons ont une distribution maxwellienne de vitesse, le rapport de leurs concentrations, en deux régions dont la différence de potentiel est V, est donné par l'équation de Boltzmann

$$\frac{n'}{n} = e^{\frac{Ve}{kT}}, \qquad (1)$$

où k est la constante de Boltzmann et T, la température des électrons. Comme la distribution de vitesses n'est pas affectée par un champ retardateur, les densités de courant désordonné sont dans le même rapport que les concentrations d'électrons. On voit donc que le logarithme de l'intensité du courant d'électrons parvenant à un petit collecteur varie proportionnellement au potentiel de ce dernier et que la vitese de variation du logarithme de l'intensité du courant électronique par rapport au potentiel est $\frac{e}{kT}$, ou $\frac{e}{k}$ est égal à 11 600 volts par degré et T est la température absolue des électrons. Cette relation n'est valable que quand le collecteur est négatif par rapport à l'espace environnant. Si le champ est accélérateur, au lieu d'être retardateur, l'intensité du courant croît plus lentement et selon une loi différente. Ainsi, il y a une discontinuité au moment où la sonde est au potentiel de l'espace qui l'entoure. Si la sonde est assez petite, la discontinuité de la courbe des courants est assez nette pour permettre de fixer le potentiel de l'espace étudié. Quand le collecteur est au potentiel de l'espace, il n'existe pas de nappe de charges autour de lui, de sorte que sa présence n'affecte pas la décharge. Ainsi, la densité I_e du courant désordonné d'électrons peut être obtenu en divisant l'intensité du courant qui parvient au collecteur, au point considéré, par l'aire du collecteur.

Selon la théorie cinétique, la densité des électrons en fonction de leur température et de l'intensité du courant désordonné est donnée par l'équation

$$n_e = \frac{4 I_e}{ev} = \left[\frac{2\pi m}{kT}\right]^{\frac{1}{2}} \frac{I_e}{e} = 4{,}03 \times 10^{13} \frac{I_e}{T^{\frac{1}{2}}}, \qquad (2)$$

où I_e est exprimé en ampères par centimètre carré.

Il existe une seconde méthode pour trouver le potentiel d'espace ; elle consiste à analyser le courant électronique parvenant au collecteur quand celui-ci crée un champ accélérateur.

Comme les champs qui existent dans la colonne positive sont très petits, la densité des ions positifs est très sensi-

(1) T.-J. Killian. *The physical Review*, 25 mai 1930, t. xxxv, (2e série), p. 1 238-1 252, 4 000 mots, 5 figures.

blement égale à celle des électrons, mais, en raison de la mobilité beaucoup plus considérable de ces derniers, le courant électronique est de 200 à 400 fois plus intense que le courant d'ions positifs.

Les ions positifs ne semblent pas avoir une distribution maxwellienne de vitesses, mais ils semblent tenir leurs vitesses des champs dans lesquels ils se meuvent après s'être formés. Par suite, l'intensité du courant d'ions positifs à un collecteur fournit la mesure du nombre d'ions positifs formés par seconde dans la région drainée par le collecteur et entourée par une surface de potentiel maximum. Cette surface sera quelque peu estompée en raison de l'agitation thermique des ions positifs, dont l'énergie est probablement presque égale à celle des molécules du gaz.

3. Etude expérimentale de la colonne positive de la décharge. — En se basant sur les considérations précédentes, l'auteur a construit un tube dont la portion cylindrique destinée à l'étude de la colonne positive a 6,2 cm de diamètre et 140 cm de longueur. Une anode de forme conique est placée dans une ampoule terminale, au-dessus d'une goutte de mercure servant de cathode. Une autre anode, placée à l'autre extrémité du tube, est constituée par un cylindre ouvert, de molybdène, de 5 cm de longueur et de 3 cm de diamètre. Deux sondes sont disposées sur la portion cylindrique du tube, à 61 cm l'une de l'autre. Elles sont constituées par du fil fin de tungstène; leurs surfaces utiles sont de 0,0311 cm² chacune. Deux collecteurs sphériques de 1,22 cm² et de 1,15 cm² d'aire respectivement sont placés à 8 cm de chacune des sondes correspondantes. En face de ces collecteurs sont disposés des disques métalliques de façon à s'adapter exactement à la paroi du tube. Leurs aires sont égales à 2 cm².

Enfin, dans la région médiane du tube est placé un collecteur mobile dont l'aire est égale à 0,061 cm²; ce collecteur explore une section droite du tube.

Avant les expériences, le tube et les électrodes avaient été soigneusement débarrassés des gaz ou vapeurs occlus. Pendant les expériences, on pompait constamment de façon à maintenir le tube libre de gaz étrangers.

On réglait la pression de la vapeur de mercure en immergeant l'ampoule contenant le mercure dans un bain d'eau à la température voulue. Les expériences ont consisté à à tracer les caractéristiques des intensités de courant en fonction des potentiels de chacun des collecteurs. Les pressions de vapeur de mercure étaient comprises entre 0,27 et 7,13 baryes. Le champ magnétique terrestre était toujours compensé au moyen de cadres rectangulaires, placés au-dessus et au-dessous du tube, convenablement orientés et parcourus par un courant d'intensité appropriée.

On a pu ainsi obtenir la valeur de la mobilité des électrons et interpréter les résultats en fonction du libre parcours moyen des électrons, au moyen de l'expression de la mobilité, due à Langevin. Ces libres parcours moyens se sont montrés en accord satisfaisant avec ceux obtenus par d'autres auteurs dans des expériences de diffusion angulaire.

Il a été possible, à partir des mesures d'intensité du courant d'ions positifs aux parois et du nombre d'électrons par unité de longueur du tube, d'obtenir la vitesse de formation des ions positifs par électron. En se servant des probabilités d'ionisation par des électrons de diverses vitesses, obtenues par d'autres observateurs, on trouve que, pour des pressions de vapeur supérieures à 1,4 barye, l'ionisation s'explique par les impacts directs, avec les atomes neutres des électrons dont la distribution de vitesse est maxwellienne. Le rapport des concentrations d'électrons, en deux points d'un diamètre, satisfait à l'équation de Boltzmann. Lorsqu'on abaisse la température des électrons de 38 000°K à 19 900°K en élevant la pression de vapeur de mercure, l'énergie cédée aux parois du tube par recombinaison des ions positifs et des électrons décroît et passe de 0,48 à 0,14 de l'apport total d'énergie. Comme la perte d'énergie par chocs élastiques entre électrons et atomes n'atteint pas les trois-dix-millièmes du total, on peut dire que le reste de l'énergie est dépensée à l'excitation de la décharge. — L. B.

Les caractéristiques magnétiques du nickel(1).

Alors que pour les substances diamagnétiques et paramagnétiques, la corrélation entre la théorie et l'expérience a pu être poussée assez loin, il n'en est pas encore de même pour les substances ferromagnétiques. L'auteur du présent article s'est efforcé de mettre en évidence les points sur lesquels on possède le plus de certitude à propos de cette corrélation, dans le cas du nickel qui est le mieux étudié des corps ferromagnétiques.

1. Théorie de Weiss-Langevin. — Selon la théorie classique édifiée par Langevin en 1905 et étendue par Weiss en 1907, les propriétés des substances paramagnétiques et ferromagnétiques sont définies par les équations

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \coth a - \frac{1}{a}, \qquad (1)$$

$$H = H_e + N\mathfrak{J}, \qquad (2)$$

$$a = \frac{\mu H}{kT}, \qquad (3)$$

où σ est l'intensité d'aimantation spécifique, σ_0, l'intensité d'aimantation spécifique à saturation et N, le coefficient du champ particulaire. Quand le champ extérieur H_e est nul, la possibilité se présente d'une aimantation spontanée, si N est positif, et l'on peut obtenir graphiquement la relation entre l'intensité de cette aimantation et la température. Ces courbes sont d'ordinaire tracées de façon à représenter $\frac{\sigma}{\sigma_0}$ en fonction de $\frac{T}{\theta}$, où θ est le point de Curie.

Cette manière de traiter le problème suppose que toute orientation des centres aimantés par rapport au vecteur magnétisant est possible. Cependant, d'après la théorie quantique, les orientations possibles sont déterminées et en nombre fini, et l'on peut les connaître en se basant sur l'observation de l'effet Zeeman. La composante du moment magnétique suivant la direction du champ est donnée, en magnétons de Bohr, par mg, où $m = j, j-1, j-2, \ldots -j$, j étant le nombre quantique interne. L'expression

$$\frac{\mu H}{kT}\cos\theta,$$

qui s'introduit dans la théorie de Langevin, devient alors

$$\frac{jg\mu_B H}{kT}\,\frac{m}{j} = \frac{mg\mu_B H}{kT},$$

où μ_B représente le magnéton de Bohr.

(1) F. Tyler. *The philosophical Magazine*, mai 1930, t. x (7e série), p. 1026-1038, 3000 mots, 2 figures.

D'autre part, le nombre d'atomes dont la composante du moment suivant le vecteur magnétisant est $mg\mu_B$ est proportionnel à

$$e^{\frac{mg\mu_B H}{kT}} = e^{mgh},$$

en posant

$$h = \frac{\mu_B H}{kT};$$

d'où, pour le moment magnétique moyen de l'ensemble (composante suivant le vecteur magnétisant),

$$\bar{\mu} = \sum_{-j}^{j} e^{mgh}\, mg\mu_B : \sum_{-j}^{j} e^{mgh}$$

t, par conséquent,

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{1}{j} \sum_{-j}^{j} e^{mgh} m : \sum_{-j}^{j} e^{mgh}. \qquad (4)$$

C'est cette fonction qui doit remplacer l'expression classique (1) de $\frac{\sigma}{\sigma_0}$.

Le cas limite est celui où les éléments magnétiques ne peuvent se disposer que dans des directions parallèles ou antiparallèles avec le vecteur H_e, ce qui arrive lorsque le moment magnétique des centres aimantés est égal à un magnéton de Bohr ($jg = 1$). Dans ce cas, l'équation (4) se réduit à

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \text{tgh}\, a. \qquad (5)$$

En remplacant (1) par cette équation, les courbes de l'aimantation en fonction de la température peuvent être obtenues comme avant. La courbe classique peut être considérée comme la courbe quantique limite pour j tendant vers l'infini.

Un point essentiel qui ressort de la discussion précédente est le suivant : alors que les courbes réduites de l'aimantation en fonction de la température, de la théorie de Weiss-Langevin, doivent être les mêmes pour tous les corps, une série de courbes sont possibles d'après la théorie quantique, la forme des courbes dépendant de l'état quantique des centres aimantés considérés. L'auteur discute ces courbes dans la deuxième partie de son mémoire et les compare à celles que fournit l'expérience.

2. Conclusion. — La comparaison, en ce qui concerne le nickel, montre que la variation de $\frac{\sigma}{\sigma_0}$ avec a correspond très exactement à la courbe en tgh a, ce qui indique que les centres magnétiques du nickel ont un moment égal à un magnéton de Bohr ($j = \frac{1}{2}$, $g = 2$). Il semble, d'autre part, qu'il existe des anomalies dans les variations de l'aimantation au voisinage du point de Curie.

On peut enfin expliquer la plupart des caractéristiques magnétiques du nickel en supposant que les porteurs du moment magnétique sont des électrons libres, dont le nombre est variable. — L. B.

L'inductance mutuelle de courts solénoïdes coaxiaux et concentriques (1).

En comparant les formules relatives à la self-inductance de solénoïdes, on remarque que la série le plus rapidement convergente pour des solénoïdes très courts contient des termes en logarithme, ce qui n'est pas le cas dans la plupart des formules en série qui sont convergentes pour des solénoïdes très longs. De même, la formule en série de Maxwell, relative à l'inductance mutuelle de deux cercles voisins, contient des termes en logarithmes alors que de nombreuses formules de séries relatives à l'inductance mutuelle de deux cercles éloignés n'en contiennent pas.

C'est pourquoi il y a lieu de s'attendre à ce qu'une formule de série contenant des termes en logarithme soit très rapidement convergente pour l'inductance mutuelle de solénoïdes courts et voisins. C'est en effet ce que les auteurs de ce travail ont pu constater, et ils présentent dans l'article qui nous occupe la formule à laquelle ils sont parvenus.

L'inductance mutuelle, exprimée en unités électromagnétiques C.G.S., de deux solénoïdes courts, minces, coaxiaux et concentriques de N_1 et N_2 spires, de diamètres m et $m + 2p$, en centimètres, respectivement, et de longueurs égales à b, en centimètres, a pour valeur

$$M = \pi m N_1 N_2 \left[\left(\log_e \frac{16\, m^2}{b^2 + p^2} \right) \left(1 + \frac{p}{m} + \frac{b^2}{8m^2} + \frac{p^2}{4m^2} \right.\right.$$

$$\left. - \frac{b^2 p}{8m^3} - \frac{p^3}{4m^3} - \frac{b^4}{64\, m^4} + \frac{7}{64}\, \frac{b^2 p^2}{m^4} + \frac{17}{64}\, \frac{p^4}{m^4} + \cdots \right)$$

$$+ \frac{p^2}{b^2} \left(\log_e \frac{b^2 + p^2}{p^2} \right) \left(1 + \frac{p}{m} - \frac{p^2}{8m^2} + \frac{p^3}{8m^3} - \frac{9}{64}\, \frac{p^4}{m^4} + \cdots \right)$$

$$- 4\, \frac{p}{b} \left(1 + \frac{p}{m} \right) \text{arc tg}\, \frac{b}{p} - 1 + \frac{p}{m} + \frac{b^2}{16\, m^2} + \frac{13}{8}\, \frac{p^2}{m^2}$$

$$\left. + \frac{3}{16}\, \frac{b^2 p}{m^3} - \frac{11}{24}\, \frac{p^3}{m^3} + \frac{b^4}{48\, m^4} - \frac{5}{16}\, \frac{b^2 p^2}{m^4} + \frac{p^3}{24\, m^4} + \cdots \right].$$

Cette expression donne l'inductance mutuelle pour les valeurs du rapport de p à m allant jusqu'à 0,25 et du rapport de b à m jusqu'à 0,8. La rapidité de sa convergence est particulièrement importante pour les très petites valeurs du rapport de b à m.

A l'effet de contrôler cette formule, les auteurs ont exécuté une mesure sur deux solénoïdes coaxiaux et concentriques, dont la longueur commune était égale à 4,29 cm. La plus petite bobine avait 95 spires et un diamètre moyen de 7,68 cm. La plus grande avait 92 spires, et un diamètre moyen de 11,20 cm. L'inductance mutuelle mesurée était de 0,437 millihenry, au lieu de 0,450 calculé au moyen de l'équation précédente. — L. B.

(1) H.-B. Dwight et P.-W. Sayles. *Journal of Mathematics and Physics*, juillet 1930, t. IX, p. 162-165, 800 mots, 2 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Les accumulateurs électriques d'après les brevets récents

Au cours d'un article publié dans ces colonnes en 1928 (*) sous la signature de M. L. Jumau, cet auteur passait en revue les progrès accomplis dans la technique des accumulateurs électriques selon les brevets les plus récents à cette époque, notamment en ce qui concerne les parties constitutives, le traitement et le montage des éléments, la forme des plaques et séparateurs et les applications particulières des batteries. C'est un travail conçu suivant un plan analogue dont nous commençons ici la publication. M. L. Jumau y expose successivement les perfectionnements les plus récents dont ont été l'objet les accumulateurs au plomb, les accumulateurs alcalins, les accumulateurs divers et enfin les dispositifs dans lesquels les batteries jouent un rôle essentiel.

I. Accumulateurs au plomb. — 1. Constitution des plaques. — a) *Plaques à grande surface.* Afin d'éviter que les plaques en plomb doux suspendues par des crochets qu'elles portent à la partie supérieure ne se courbent ou ne s'arrachent, E. Sieg (1) constitue ces crochets en plomb dur (alliage à 5 à 11 pour 100 d'antimoine). Ils sont reliés à la plaque par fusion.

Les électrodes de l'accumulateur P. Héroult et A. Freudenberg (2) sont du type à grande surface. Elles sont obtenues par métallisation sur les deux faces et avec marges latérales, d'un support mince approprié (papier, tissu de soie, gélatine, celluloïd, etc.) au moyen de poudre métallique de plomb dont les grains ont passé au tamis de 250. Par un laminage, on écrase ces granules de manière à les souder en nappes continues, ces deux nappes étant réunies en de nombreux points par les granules qui ont traversé les trous du support.

Pour monter l'élément représenté en coupe horizontale par la figure 1, on enroule sur un tube isolant 3

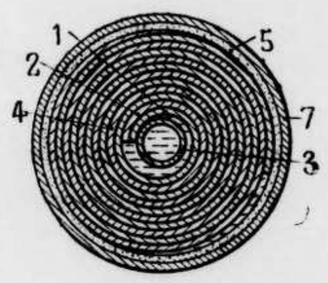


Fig. 1. — Coupe horizontale d'un élément d'accumulateur.

percé de trous deux feuilles métallisées 1 et 2 séparées par une bande 4 isolante, perméable et compressible. Le tout est introduit dans un bac cylindrique 7 en aluminium recouvert de bakélite ou d'acétate de cellulose avec interposition d'une bande de feutre 5 et d'un disque de feutre 6.

La plaque positive à grande surface A. Pouchain (1), représentée en figure 2, est divisée en champs dans

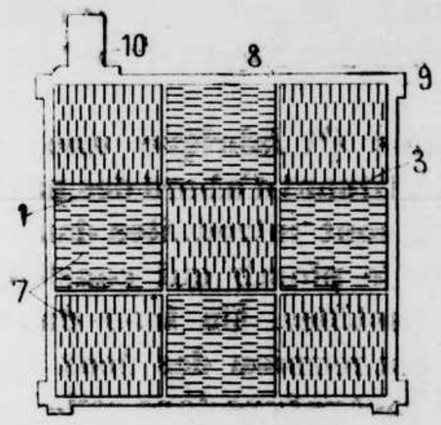


Fig. 2. — Schéma d'une électrode complète divisée en champs.

lesquels les nervures sont successivement horizontales et verticales.

Une coupe horizontale agrandie d'un champ à nervures horizontales est représentée en figure 3. Les

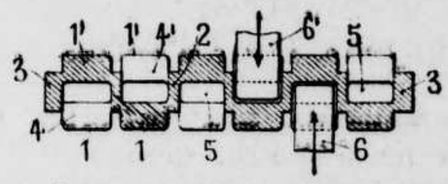


Fig. 3. — Coupe horizontale d'une portion d'électrode.

rangées de nervures 1, 1' sont séparées par des nervures pleines 2 et limitées par l'encadrement 3. Les nervures d'une même rangée laissent entre elles des intervalles convenables. Elles sont disposées en quinconce d'une rangée à la rangée voisine et d'un côté à l'autre de la plaque.

Une telle plaque peut être obtenue par estampage, 6 et 6' représentant des lames de l'outil à estamper.

(*) L. Jumau; Les accumulateurs électriques d'après les brevets récents. *Revue générale de l'Electricité*, 21 et 28 janvier et 4 février 1928, t. XXIII, p. 131-141, 180 192 et 226-238.

(1) Plaque d'accumulateur. *Brevet français n° 623 137*, demandé le 14 octobre 1926, délivré le 14 mars 1927, publié le 16 juin 1927, 29 lignes.

(2) Accumulateur électrique. *Brevet français n° 659 666*, demandé le 19 décembre 1927, délivré le 5 février 1929, publié le 2 juillet 1929, 181 lignes, 3 figures.

(1) Electrode de plomb pour accumulateurs électriques. *Brevet français, n° 666 393*, demandé le 26 décembre 1928, délivré le 21 mai 1929, publié le 1er octobre 1929, 149 lignes, 4 figures.

b) *Plaques à grille ou à matière active rapportée.* — La plaque C.-H. Everett (1) est caractérisée par une ossature en plomb comprenant un conducteur vertical central et des barreaux horizontaux à section en losange. Sur ces barreaux, on dispose verticalement très près les unes des autres des bandes de plomb ondulées ou en zigzag, ces feuilles portant des trous correspondant à la section des barreaux. Les bandes adjacentes sont reliées à certains intervalles par une jonction soudée. La plaque ainsi obtenue est garnie de matière active.

J.-S. Crossley (2) fabrique les grilles cylindriques dans un moule rotatif comportant des encoches, en introduisant le métal fondu (plomb par exemple) dans celui-ci et en le projetant par la force centrifuge dans ces encoches.

La matière active, pâte d'oxydes de plomb ou de plomb, par exemple, est introduite, par la force centrifuge également, dans les alvéoles de la grille après que celle-ci a été recouverte extérieurement d'une enveloppe convenable (feuilles d'amiante imprégnées de silice, par exemple).

La plaque A.Blansztajn (3) présente une section horizontale en zigzag, les diverses surfaces élémentaires faisant entre elles des angles de 90° environ.

S.-J. Williams (4) fabrique une plaque à oxyde rapporté en constituant d'abord des pastilles de matière active. Celles-ci sont introduites dans un moule dans lequel on coule le plomb qui constituera la grille en sertissant les pastilles. Un trou dans la pastille de matière permet la réunion des deux côtés de la grille. Quelques trous sont prévus dans celle-ci pour permettre la dilatation.

Pour diminuer le poids des plaques, J. Delpech et E. Vacheron (5) prennent un support en matière légère et inattaquable (celluloïd, ébonite, résines synthétiques, etc.) qu'ils rendent conductrice en appliquant une couche de plomb ou de plomb antimonié, soit par le procédé de métallisation avec pistolet Schoop, soit par d'autres moyens. Pour d'autres accumulateurs ou pour des piles, on peut recouvrir ce support d'autres métaux : fer, nickel, zinc, etc.

L.-A.-H. Arnaud (1) obtient les plaques en projetant à l'aide du pistolet Schoop, sur une plaque de base (plomb ou alliage de plomb), du plomb pulvérisé en même temps que de la litharge ou encore une matière inerte en poudre (craie, kieselguhr) facilement éliminable ensuite et donnant de la porosité.

On enroule en spirale deux bandes ainsi préparées, l'une devant former la plaque positive, l'autre, la plaque négative, avec interposition d'un séparateur isolant.

La plaque de la Société anonyme des Accumulateurs Monoplaque (2), destinée particulièrement aux accumulateurs à faible débit, est représentée en coupe verticale sur la figure 4. Elle est constituée par un assemblage de plaquettes élémentaires à grille disposées horizontalement les unes sur les autres.

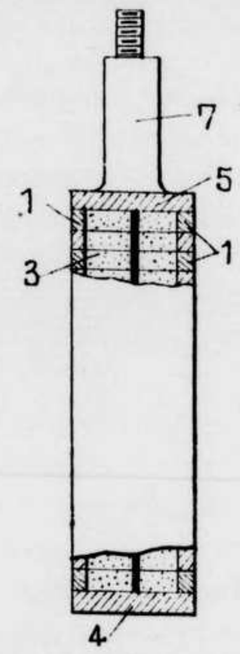


Fig. 4. — Coupe en élévation d'une plaque composée.

Chaque plaquette élémentaire comprend une grille 1 et la matière active empâtée 3. Cette matière est constituée par un mélange d'oxydes de plomb et d'une matière très poreuse : silice colloïdale, kieselguhr ou autre.

Les plaquettes sont assemblées dans un support comportant les barrettes horizontales 4 et 5 réunies par des montants verticaux, la barrette 5 portant la tige polaire 7.

c) *Plaques cuirassées.* — Comme le représente en coupe horizontale la figure 5, la plaque de la Société Ed. Parvillé et Cie (3) est composée de lamelles de

(1) Perfectionnements aux batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 618455*, demandé le 3 juillet 1926, délivré le 13 décembre 1926, publié le 10 mars 1927, 119 lignes, 4 figures.

(2) Perfectionnements apportés aux accumulateurs et à leurs procédés de fabrication. *Brevet français n° 633272*, demandé le 23 avril 1927, délivré le 22 octobre 1927, publié le 16 janvier 1928, 325 lignes, 10 figures.

(3) Plaque d'accumulateur. *Brevet français n° 634609*, demandé le 18 mai 1927, délivré le 28 novembre 1927, publié le 22 février 1928, 59 lignes, 2 figures.

(4) Perfectionnements dans la fabrication des accumulateurs ou batteries électriques. *Brevet français n° 639513*, demandé le 13 août 1927, délivré le 10 mars 1928, publié le 23 juin 1928, 139 lignes, 2 figures.

(5) Perfectionnements aux accumulateurs électriques. *Brevet français n° 647940*, demandé le 30 janvier 1928, délivré le 6 août 1928, publié le 3 décembre 1928, 108 lignes, 2 figures.

(1) Perfectionnements aux accumulateurs électriques. *Brevet français n° 664348*, demandé le 1er mars 1928, délivré le 22 avril 1929, publié le 2 septembre 1929. 236 lignes, 4 figures.

(2) Plaque composée pour accumulateurs électriques. *Brevet français n° 667366*, demandé le 16 avril 1928, délivré le 10 juin 1929, publié le 16 octobre 1929, 161 lignes, 6 figures.

(3) Perfectionnement aux accumulateurs. *Brevet français n° 644192*, demandé le 21 avril 1927, délivré le 4 juin 1928, publié le 3 octobre 1928, 86 lignes, 2 figures.

section ovale ayant environ 8 mm suivant le grand axe et 3 mm suivant le petit axe. Chaque lamelle comporte une âme en plomb dur 1 et une enveloppe en

Fig. 5. — Coupe horizontale d'une plaque à lamelles de la Société Ed. Parvillé et Cie.

matière isolante 2 perforée. Les âmes en plomb sont réunies par une entretoise et entre les lamelles, on laisse un intervalle de 0,5 mm.

Une autre plaque de la Société Ed. Parvillé et Cie (1) est représentée en coupe horizontale partielle en figure 6. Elle comprend des crayons 1 assujettis dans des perforations 2 ménagées dans un cadre en ébonite 4.

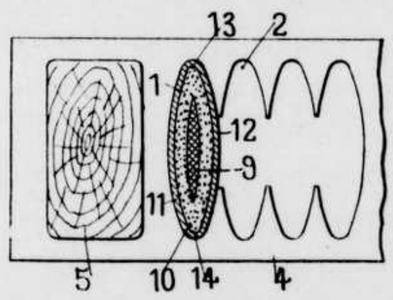


Fig. 6. — Coupe horizontale d'une autre plaque de la Société Ed. Parvillé et Cie.

Ce cadre est assemblé par des entretoises en bois 5. Chaque crayon est composé d'une âme 9 (ruban de plomb) noyée dans la matière active 10. Celle-ci est enfermée dans une gaine constituée par deux feuilles de bois minces 11 et 12 réunies en 13 et 14 par collage à la dissolution de celluloïd.

La plaque E. Parvillé (2) est constituée d'un assemblage de petites plaquettes ayant en section 3 mm de largeur et 10 mm de longueur et disposées sur champ, l'épaisseur de la plaque étant de 10 mm. Chaque plaquette, dont la section est représentée en figure 7, com-

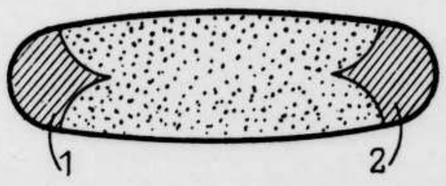


Fig. 7. — Coupe horizontale d'une plaquette de la Société Ed. Parvillé et Cie.

prend une grille à barreaux verticaux 1 et 2 réunis par quelques barreaux horizontaux. La matière active à oxydes ou à alliage plomb-sodium a une surface légèrement bombée. On l'enveloppe à l'aide d'un enroulement de fil isolant et inattaquable (fil métallique ou non, émaillé, bakélisé, etc.). Entre la matière et l'enroulement, on peut aussi interposer de la laine de verre ou une étoffe d'amiante.

La Société Ed. Parvillé et Cie (1) fabrique encore une plaque cuirassée représentée en figure 8 (coupe verticale) et en figure 9 (vue en plan). Elle est constituée de pla-

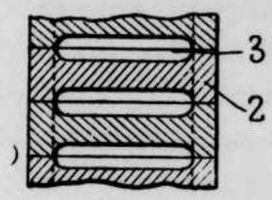


Fig. 8. — Coupe verticale d'une plaque cuirassée de la Société Ed. Parvillé et Cie.

quettes de bois 2 superposées horizontalement en croisant successivement les fibres du bois. Dans ces plaquettes sont ménagés des trous 1 pour le logement des

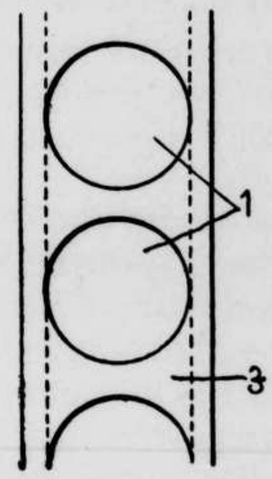


Fig. 9. — Plan d'une plaque cuirassée de la Société Ed. Parvillé et Cie.

électrodes cylindriques. Un évidement 3 est prévu entre les plaquettes pour la circulation de l'électrolyte. Les plaquettes sont fixées ensemble par collage sur leurs bords.

M. Haddon et J.-MacDonald Burnett (2) enrobent les plaques soit après l'empâtage, soit après la formation. A cet effet on applique sur la plaque un revêtement composé d'un latex de caoutchouc mélangé à un sel soluble dans l'eau (sulfate de magnésium ou carbonate d'ammonium). Après séchage, on élimine les sels par dissolution dans l'eau, ce qui laisse au revêtement une structure spongieuse.

On peut aussi se servir de latex mélangé à une telle proportion d'eau qu'après coagulation par la chaleur ou par un acide, la pellicule de caoutchouc adhérant à la plaque devient poreuse.

On peut encore mélanger au latex un produit comme le carbonate d'ammonium qui, par l'action de la chaleur ou d'un acide, dégage des bulles gazeuses dans la masse et la rend ainsi poreuse.

En ajoutant en outre des sulfures alcalins, on produit

(1) Accumulateurs. *Brevet français n° 648 197*, demandé le 14 juin 1927, délivré le 7 août 1928, publié le 6 décembre 1928, 129 lignes, 4 figures.

(2) Perfectionnements aux accumulateurs à grande capacité. *Brevet français n° 649 134*, demandé le 7 juillet 1927, délivré le 21 août 1928, publié le 18 décembre 1928, 249 lignes, 3 figures.

(1) Accumulateurs. *Brevet français n° 660 965*, demandé le 11 janvier 1928, délivré le 26 février 1929, publié le 19 juillet 1929, 71 lignes, 2 figures.

(2) Perfectionnements aux grilles ou plaques d'accumulateurs garnies de pâte. *Brevet français, n° 638 085*, demandé le 21 juillet 1927, délivré le 14 février 1928, publié le 15 mai 1928, 73 lignes.

une vulcanisation du revêtement en caoutchouc pendant le séchage des plaques.

2. Matière active. — La Société Le Carbone (1) ajoute à la matière active des substances possédant naturellement la double propriété d'un très grand pouvoir d'absorption des gaz et d'être imperméables ou peu perméables aux liquides. A cet effet, on utilise le gel de silice ou le gel d'alumine déshydratés. Le premier s'obtient en faisant agir de l'acide chlorhydrique sur le silicate de sodium. Après plusieurs lavages, on dessèche par chauffage progressif jusqu'à 500°C puis on pulvérise. Le gel d'alumine se prépare de la manière ordinaire en partant du sulfate d'aluminium.

On prépare la matière active en mélangeant intimement 1 kg de poudre de plomb ou d'un oxyde de plomb avec 200 g de gel de silice en poudre. On malaxe avec 100 cm³ d'eau ou de solution sulfurique à 10 pour 100.

On peut aussi rendre plus imperméables les grains du gel déshydraté, en les trempant dans une solution de caoutchouc dont on évapore ensuite le solvant.

Pour augmenter la conductibilité de la matière active négative, C.-G.-V. Féry (2) dissémine dans celle-ci du charbon dit « charbon actif » ou « charbon activé ». Ce charbon est en général obtenu en traitant par l'acide sulfurique ou par l'acide phosphorique la cellulose du bois ou la tourbe et en calcinant ensuite à température élevée. On obtient ainsi un charbon d'une conductibilité électrique comparable à celle du graphite et d'une grande porosité. La matière active ainsi constituée est plus conductrice, absorbe plus d'électrolyte et retient fortement l'hydrogène produit pendant la charge.

La tension à la fin de la charge peut atteindre par élément 2,7 à 2,8 v dans l'accumulateur au plomb et 1,75 à 1,85 v dans l'accumulateur fer-nickel.

Pour diminuer cette tension, la Compagnie générale d'Électricité (3) introduit dans les éléments de petites quantités de métaux, comme le vanadium, le nickel, le cobalt, le tungstène, le molybdène et le cuivre, dont la surtension par rapport à l'hydrogène se trouve entre 0,1 et 0,2 v.

Ces corps peuvent être introduits à l'état de poudre métallique, d'oxydes ou de sels dans la matière active négative, dans une proportion comprise entre 0,01 et 1 pour 100. On peut aussi les ajouter directement dans l'électrolyte.

En si faible proportion, ces corps n'augmentent pas sensiblement les actions locales. En revanche, ils abaissent de 0,05 à 0,20 v suivant leur nature la tension en fin de charge par élément, ce qui permet d'augmenter le rendement en énergie, de charger un plus grand nombre d'éléments avec une tension déterminée et de diminuer le nombre d'éléments de réduction d'une batterie.

La Société The Silica Gel Corporation (1) augmente la porosité de la matière en lui incorporant du gel de silice en poudre fine. La quantité employée est de 1 à 5 pour 100 du poids de l'oxyde. On malaxe avec l'acide sulfurique et on garnit les grilles de cette pâte que l'on sèche, puis que l'on forme.

La machine à empâter de la Société nouvelle de l'Accumulateur Fulmen (2) est représentée en figure 10

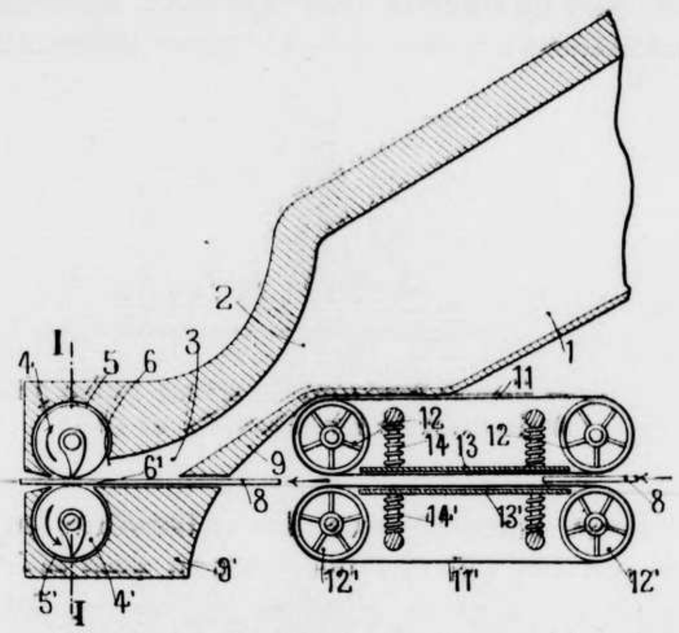


Fig. 10. — Coupe longitudinale de la machine à empâter de la Société nouvelle de l'Accumulateur Fulmen.

(coupe longitudinale) et en figure 11 (coupe suivant 1 — 1 de la figure 10).

De la chambre d'alimentation 1 la pâte est poussée par piston ou vis d'Archimède dans une conduite 2 et

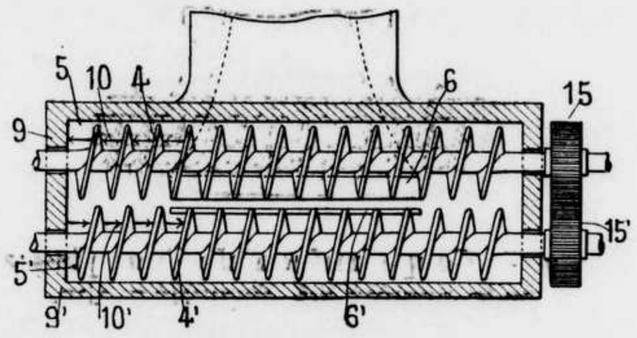


Fig. 11. — Coupe suivant 1-1 de la figure 10.

de là dans une chambre 3. Elle traverse ensuite les ouvertures 6 et 6' ménagées dans les cylindres 5 et 5'. Ces

(1) Perfectionnement aux pôles et accumulateurs électriques et appareils électrolyseurs. *Brevet français n° 602 698*, demandé le 10 décembre 1924, délivré le 29 décembre 1925, publié le 24 mars 1926, 165 lignes.

(2) Perfectionnement aux accumulateurs. *Brevet français n° 637 152*, demandé le 30 octobre 1926, délivré le 24 janvier 1928, publié le 24 avril 1928, 161 lignes.

(3) Accumulateurs électriques à tension de charge réduite. *Brevet français n° 631 692*, demandé le 28 mars 1927, délivré le 20 septembre 1927, publié le 24 décembre 1927, 54 lignes.

(1) Composition pour plaques de batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 634 479*, demandé le 16 mai 1927, délivré le 19 novembre 1927, publié le 18 février 1928, 107 lignes.

(2) Machine à empâter les plaques d'accumulateurs électriques. *Brevet français n° 647 167*, demandé le 2 juin 1927, délivré le 24 juillet 1928, publié le 21 novembre 1928, 141 lignes, 2 figures.

cylindres contiennent deux vis d'Archimède parallèles 4 et 4′ contre lesquelles vient buter la pâte qui remplit finalement les cylindres 5 et 5′.

Les grilles à empâter 8 passent entre les deux vis 4 et 4′ dans l'espace laissé libre entre les deux parties 9 et 9′ de la machine. Au fur et à mesure de leur avancement, leurs alvéoles sont remplis sur les deux faces par la matière évacuée des cylindres 5 et 5′.

L'avancement des grilles 8 est assuré par un dispositif composé de deux courroies sans fin 11 et 11′ parallèles se déplaçant en sens inverse sur des tambours 12 et 12′ et maintenues à distance convenable l'une de l'autre par des plaques en fer 13 et 13′ sur lesquelles agissent des ressorts 14 et 14′. L'écartement de ces deux plaques ainsi que celui des parties 9 et 9′ est réglé d'après l'épaisseur des grilles à empâter.

L'adjonction aux matières actives, dans l'accumulateur au plomb et dans d'autres accumulateurs, de poudre de carbone (noir de fumée notamment) est depuis longtemps pratiquée. Comme variété de carbone, la Société des Accumulateurs électriques (Société des anciens Etablissements A. Dinin) (1) utilise les charbons dits actifs ou activés. Ces charbons, caractérisés par leur grand pouvoir absorbant pour les gaz, augmenteraient la capacité, la conductibilité et la durée des matières actives.

Donat de Giovannini (2), dans le but d'utiliser les gaz occlus, pendant la décharge, ajoute à la pâte d'oxydes un charbon extrêmement dur et à grand pouvoir absorbant. Il obtient celui-ci en carbonisant des matières végétales riches en lignone : grignons d'olives, noyaux de dattes, noix de Malabar, parties ligneuses très dures de noix de coco, ou enveloppes de fruits ou de graines. La proportion en poids de ce charbon est de 5 à 10 pour 100 du poids d'oxyde employé.

Léon-Paul Hulin, d'après son brevet américain n° 587 829 du 21 décembre 1894, fabriquait ses plaques en coulant l'alliage de plomb-sodium dans les alvéoles d'une grille en plomb. Mais comme les alliages renfermant 10 à 30 pour 100 de sodium ont un point de fusion plus élevé que le plomb, il en résultait que le plomb de la grille fondait en s'unissant à l'alliage plomb-sodium, ce qui diminuait la porosité prévue de la matière active.

La Société I. G. Farbenindustrie A. G. (3) coule d'abord l'alliage de plomb et ensuite la grille en plomb ou encore coule la grille, puis refroidit celle-ci dans un moule sur ses parois extérieures et coule ensuite avec précaution l'alliage plomb-sodium. Celui-ci renferme 19 à 22 pour 100 de sodium pour les plaques positives et 15 à 22 pour 100 pour les négatives. On fabrique ainsi de gros blocs prismatiques que l'on découpe ensuite à l'épaisseur désirée des plaques. On peut encore couler séparément le bloc de grilles et les blocs prismatiques d'alliage et introduire ceux-ci par pression dans les alvéoles du bloc de grilles de plomb, puis découper des plaques à l'épaisseur voulue. Le sodium est éliminé enfin par dissolution de la manière connue.

La Société I. G. Farbenindustrie A. G. (4) fabrique encore les électrodes en partant d'un alliage de plomb et d'un autre métal (alliage plomb-sodium par exemple). Le métal étranger est éliminé par électrolyse en solution acide ou alcaline, puis on forme simultanément les plaques positives et les négatives par voie électrolytique.

Pour préparer un autre type d'électrodes, la Société I. G. Farbenindustrie A. G. (5) constitue d'abord des barres creuses, rondes ou ovales en pressant à 600 à 800 kg : cm² l'alliage de plomb-sodium à 20 pour 100 de sodium et à une température de 260 à 300°C. L'alliage est employé à l'état pulvérisé de façon que le volume des pores représente 45 à 70 pour 100. On introduit au centre, par pression, un noyau en plomb durci. L'élimination du sodium se fait par dissolution dans l'alcool, l'acide sulfurique ou l'eau. Les électrodes peuvent être entourées d'une enveloppe perforée avant leur formation en anodes.

La Société I. G. Farbenindustrie A. G. (6) prépare des plaques positives poreuses à grande capacité au moyen d'alliages de plomb contenant un ou plusieurs métaux alliés qui peuvent être éliminés ultérieurement par dissolution.

La Société I. G. Farbenindustrie A.-G. (7) prépare de même des électrodes négatives en partant d'un support en plomb garni d'un alliage de plomb et de métaux éliminables ultérieurement par dissolution. On ajoute à cet alliage une petite quantité de baryum qui se transformera ultérieurement en sulfate de baryum dans l'acide sulfurique. La plaque est d'abord formée en positive. Lorsque la matière active est complètement

(1) Perfectionnements aux accumulateurs électriques. *Brevet français n° 649 841*, demandé le 21 juillet 1927, délivré le 10 septembre 1928, publié le 28 décembre 1928, 44 lignes.

(2) Perfectionnements apportés aux accumulateurs électriques à oxydes rapportés. *Brevet français n° 642 038*, demandé le 6 octobre 1927, délivré le 1er mai 1928, publié le 17 août 1928, 157 lignes.

(3) Procédé de fabrication de plaques pour accumulateurs. *Brevet français n° 647 933*, demandé le 28 janvier 1928, délivré le 6 août 1928, publié le 3 décembre 1928, 192 lignes, 2 figures.

(4) Procédé de fabrication d'électrodes en plomb pour accumulateurs. *Brevet français n° 655 340*, demandé le 16 mai 1928, délivré le 17 décembre 1928, publié le 17 avril 1929, 59 lignes.

(5) Procédé de fabrication d'électrodes en plomb pour accumulateurs. *Brevet français n° 654 998*, demandé le 30 mai 1928, délivré le 7 décembre 1928, publié le 12 avril 1929, 112 lignes.

(6) Procédé de fabrication d'accumulateurs. *Brevet français n° 657 291*, demandé le 11 juillet 1928, délivré le 12 janvier 1929, publié le 21 mai 1929, 51 lignes.

(7) Procédé de préparation d'électrodes négatives pour accumulateurs. *Brevet français n° 657 502*, demandé le 13 juillet 1928, délivré le 15 janvier 1929, publié le 23 mai 1929, 89 lignes.

transformée en peroxyde de plomb et de préférence lorsqu'elle a atteint le maximum de capacité comme anode, on la réduit en négative.

La Société Furukawa Denki Kogyo Kabushiki Kaisha (1) constitue la matière active de la manière suivante : on fabrique d'abord de la cendre de plomb en agitant du plomb fondu additionné d'oxydes de plomb (litharge ou minium) ou en agitant du plomb fondu en permettant l'accès de l'air. Cette cendre de plomb est transformée en poudre fine au moyen d'un pulvérisateur par chocs de construction spéciale. Les grilles sont empâtées au moyen d'une pâte obtenue en malaxant ce mélange pulvérulent avec une solution diluée d'acide sulfurique.

3. Traitement des plaques après empatage ou après formation. — Pour sécher les plaques après leur empâtage lorsque cet empâtage a été fait à base de plomb divisé (poudre de plomb, plomb spongieux, etc.), la Compagnie générale d'Electricité (2) introduit ces plaques P dans un récipient A à fermeture hermétique (fig. 12). Les plaques s'oxydent légèrement en absorbant l'oxygène de l'air renfermé dans A, ce que l'on

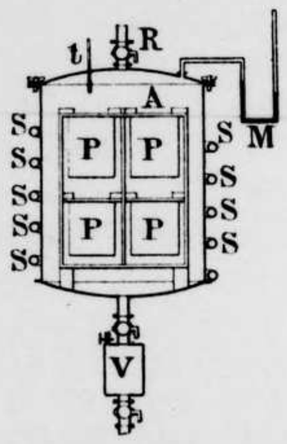


Fig. 12. — Croquis schématique du récipient de séchage à fermeture hermétique.

constate par la dépression marquée au manomètre M. Le vase V permet d'évacuer l'eau qui s'est condensée pendant cette partie de l'opération. Pendant la deuxième période, le récipient A est chauffé par le serpentin S à circulation de vapeur et le robinet R est ouvert pour évacuer la vapeur d'eau des plaques dès que le manomètre M indique une surpression. Le séchage se poursuit donc dans une atmosphère non oxydante puisqu'il ne reste plus que de l'azote dans le récipient.

Le même procédé est appliqué à toute plaque négative que l'on veut sécher après sa formation et conserver, par conséquent, chargée et sèche.

(1) Plaques d'accumulateurs et leur procédé de fabrication. *Brevet français n° 666 971*, demandé le 5 janvier 1929, délivré le 3 juin 1929, publié le 8 octobre 1929, 150 lignes.

(2) Procédé de séchage des plaques d'accumulateurs électriques. *Brevet français n° 615 283*, demandé le 15 septembre 1925, délivré le 9 octobre 1926, publié le 4 janvier 1927, 128 lignes, 2 figures.

Afin de pouvoir conserver à l'air les plaques chargées et sèches, la Société The Silica Gel Corporation (1) sèche les plaques formées et lavées, aussi bien les positives que les négatives, en y appliquant une matière absorbante, à l'état granulaire, qui absorbe l'humidité et partiellement l'air des plaques.

Cette matière, qui peut être chauffée, est soit le gel de silice, soit de la sciure de bois, ou encore du gypse, de la chaux, de l'alumine, des céréales séchées.

En vue d'obtenir des plaques ayant immédiatement une très grande capacité même lorsqu'elles doivent être utilisées avec un électrolyte immobilisé, la Compagnie générale d'Electricité (2) décharge les plaques dans l'acide jusqu'à ce que leur matière active soit transformée complètement ou en majeure partie en sulfate de plomb, ce qui leur donne une très grande capacité quand elles sont chargées à nouveau.

Les éléments montés avec des plaques ainsi déchargées peuvent être remplis d'eau distillée ou d'un remplissage sec exempt d'acide (remplissage à la silice, par exemple).

Pour que le liquide acquière dès le début une certaine conductibilité, on peut ajouter une faible quantité de sulfate de sodium.

Lorsqu'on sèche à l'abri de l'air les plaques négatives, elles gardent indéfiniment leur charge à condition d'être conservées dans l'air sec. Il n'en est plus de même lorsque l'air est humide.

Pour assurer la conservation de la charge même dans ce dernier cas, la Compagnie générale d'Electricité (3) décharge d'abord partiellement les plaques négatives, par exemple pendant douze minutes, avec le quintuple de l'intensité du courant normal au régime de dix heures. Ces plaques qui n'ont perdu ainsi que 10 pour 100 de leur capacité, ce qui est peu important puisque, en général, les négatives ont une plus grande capacité initiale que les positives, sont lavées et séchées à l'abri de l'air. Elles gardent alors leur charge pendant très longtemps à l'air humide.

C'est aussi dans le but de conserver les plaques à l'état chargé que Gaston Fromont (4) enrobe ces plaques

(1) Mode de traitement de plaques de batteries d'accumulateurs chargées. *Brevet français n° 618 457*, demandé le 3 juillet 1926, délivré le 16 décembre 1926, publié le 10 mars 1927, 138 lignes.

(2) Procédé de fabrication d'accumulateurs électriques au plomb. *Brevet français n° 629 346*, demandé le 8 février 1927, délivré le 25 juillet 1927, publié le 8 novembre 1927, 51 lignes.

(3) Procédé de fabrication de plaques au plomb spongieux résistant à l'air, destinées aux accumulateurs électriques. *Brevet français n° 629 347*, demandé le 8 février 1927, délivré le 25 juillet 1927, publié le 8 novembre 1927, 44 lignes.

(4) Procédé pour la conservation de plaques chargées d'accumulateurs électriques et application des plaques obtenues par ce procédé. *Brevet français n° 643 487*, demandé le 1er avril 1927, délivré le 16 mai 1928, publié le 18 septembre 1928, 152 lignes.

au moyen de produits spongieux inattaquables par l'électrolyte : produits cellulosiques, cartons, buvards ou ouates de cellulose.

Dans cet enrobage, on peut insérer des sels de métaux alcalins ou alcalino-terreux, particulièrement des sels de sodium sous forme de poudre ou de cristaux, dans le but d'obtenir des électrolytes déterminés. On peut aussi obtenir de cette manière des éléments à liquide immobilisé, les plaques étant montées dans le bac avec leur enrobage.

Dans le même but, la Société anonyme des Accumulateurs Monoplaque (1) enrobe d'abord ces plaques d'une matière colloïdale (amidon, gomme arabique, dextrine, gélatine), puis les sèche pendant quelques heures à 40°C environ, enfin détruit le revêtement par combustion en élevant pendant quelques heures la température à 120°C. On peut aussi recouvrir les plaques, pendant le séchage, de sciure de bois, sable fin, silice colloïdale ou encore d'une matière absorbante telle que l'amiante.

4. Montage des éléments et des batteries. — a) *Bacs et couvercles.* — Pour les batteries de démarrage, la Société Caillard et M. Heuzey (2) utilise un bac à compartiments multiples représenté en figure 13 (coupe

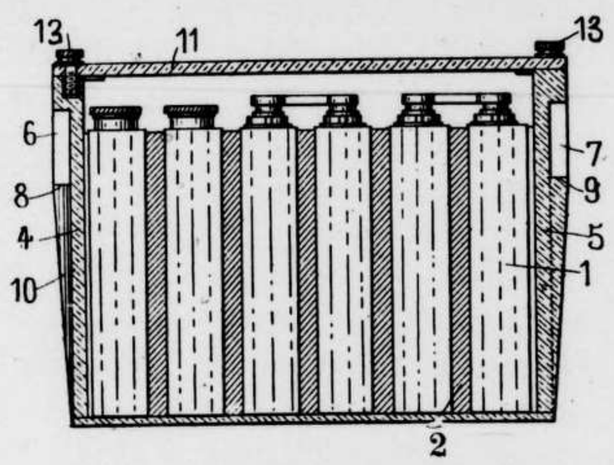


Fig. 13. — Coupe verticale d'un bac à compartiments multiples.

en élévation). Ce bac en matière moulée est divisé en compartiments 1 par les cloisons 2.

Dans les parois extrêmes 4,5 convenablement renforcées à la partie supérieure, on a ménagé des évidements 6,7 permettant la manutention de la batterie. Les bords inférieurs des évidements 6,7 constituent des surfaces d'appui 8,9 pour des organes de fixation, par exemple des boulons à tête en T dont le corps se loge dans une rainure 10 ménagée sur la face extérieure de la paroi.

Le bac est fermé par un couvercle 11 ayant à ses angles des butées de guidage et maintenu par des vis 13 qui se vissent sur des écrous noyés dans la partie supérieure des parois 4,5.

La fermeture d'un bac en celluloïd ou autre matière est effectuée par Oldham and Son limited et W.-D. Wilde (1) ainsi qu'il est représenté en figure 14. Le bac

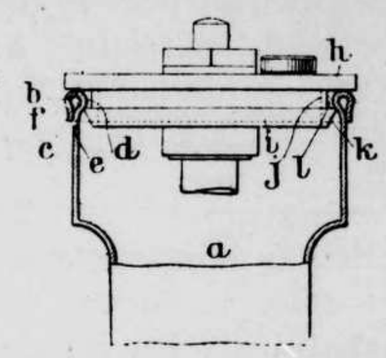


Fig. 14. — Elévation, avec coupe partielle, du dispositif de fermeture de la Oldham and Son ltd.

a, en celluloïd, a son bord supérieur b replié en forme de bourrelet. On obtient ainsi un rebord renforcé capable de résister sans fêlure, aux efforts exercés sur lui.

Le couvercle en celluloïd h possède tout autour une nervure i et un évidement j et s'ajuste sur le haut b c d du bac. La nervure se termine en biseau en k. Dans l'évidement j on loge la bague en caoutchouc l.

Le couvercle h pénètre, en faisant ressort, à l'intérieur du bac et le joint est rendu étanche par la bague de caoutchouc. La mise en place et l'enlèvement sont effectués facilement à l'aide d'un outil que l'on fait agir sur le bord supérieur du bac.

En vue d'obtenir un bac solide et léger, G.-H. Lévy (2) le constitue en ébonite armée extérieurement par une feuille ou par un treillis métallique.

Pour les batteries de tension à faible capacité et tension élevée, employées en radiotechnique, la Société Accumulateur Farad (3) emploie un bac à compartiments en matière isolante telle que le verre. Comme le représente la figure 15, entre les compartiments 2 des

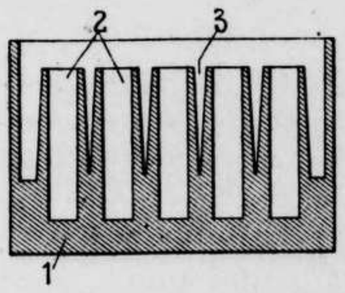


Fig. 15. — Coupe verticale du bac de la Société des Accumulateurs Farad.

divers éléments, on ménage des rainures 3 que l'on remplit d'un liquide isolant (huile de vaseline ou huile

(1) Procédé de traitement de plaques d'accumulateurs permettant leur conservation à l'état chargé et sec. *Brevet français n° 668 561*, demandé le 10 mai 1928, délivré le 15 juillet 1929, publié le 4 novembre 1929, 150 lignes.

(2) Bac pour batterie d'accumulateurs. *Brevet français n° 617 869*, demandé le 5 novembre 1925, délivré le 29 novembre 1926, publié le 26 février 1927, 129 lignes, 5 figures.

(1) Batteries galvaniques. *Brevet français n° 607 866*, demandé le 11 décembre 1925, délivré le 9 avril 1926, publié le 10 juillet 1926, 132 lignes, 3 figures.

(2) Bac d'accumulateur. *Brevet français n° 632 561*, demandé le 30 juillet 1926, délivré le 10 octobre 1927, publié le 11 janvier 1928, 43 lignes.

(3) Bac d'accumulateurs. *Brevet français n° 644 320*, demandé le 21 novembre 1927, délivré le 4 juin 1928, publié le 5 octobre 1928, 89 lignes, 3 figures.

de paraffine), afin d'empêcher les dérivations d'éléments à éléments.

En vue d'éviter la rupture des bacs en verre pendant les manipulations, J.-E. Marsden (1) entoure le bac d'une enveloppe (métallique par exemple) pouvant porter des poignées de transport et remplit l'intervalle entre le bac en verre et l'enveloppe d'une matière visqueuse (asphalte ou goudron par exemple); des fenêtres latérales sont ménagées pour permettre de voir l'intérieur de l'élément.

Dans les batteries de lampes de mines comportant deux éléments en série, la Société Concordia Elektricitäts-A.-G. (2) constitue le bac à l'aide de deux demi-bacs formés en recourbant deux feuilles planes de celluloïd en forme de demi-cylindre ou de prisme quadrangulaire, les extrémités taillées en biseau étant collées l'une sur l'autre tandis que les parois du bac qui comprennent les parties où se fait le collage sont collées à leur tour sur toute leur étendue sur les côtés d'une paroi médiane commune. Les fonds présentent des rebords rentrants que l'on colle sur les parois verticales.

Pour obtenir une fermeture absolument hermétique, ce qui est particulièrement nécessaire pour les accumulateurs conservés sans liquide et dont les plaques chargées doivent être maintenues à l'abri de l'oxygène de l'air, la Compagnie générale d'Electricité (3) adopte un dispositif tel que celui représenté en figure 16. Le bac a en matière isolante (ébonite ou gummite par

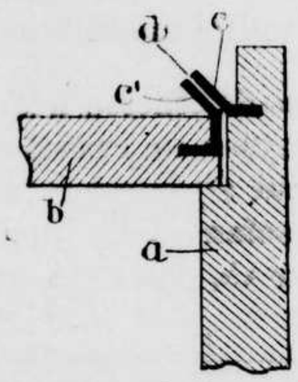


Fig. 16. — Croquis du dispositif de fermeture hermétique.

exemple) porte à sa partie supérieure une pièce c en plomb ou alliage de plomb noyée dans la matière. Le couvercle b porte une pièce semblable c'. Les deux pièces c et c' étant rapprochées, il ne reste plus qu'à souder leurs bords en d pour obtenir une fermeture tout à fait hermétique. Pour rendre le démontage plus aisé, avant de souder les deux parties cc', on peut introduire entre elles (fig. 17) un fil métallique h dont les deux extrémités dépassent extérieurement la soudure en h'. Le démontage se fait facilement en arrachant les points de soudure par traction de ce fil h'.

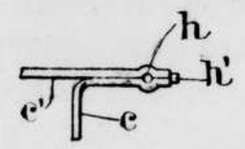


Fig. 17. — Schéma du dispositif de démontage de la réalisation de la figure 16.

Dans la batterie Pœrscke Elektricitäts-Gesellschaft (1), le couvercle du bac à compartiments comprend deux panneaux superposés : le panneau inférieur porte les connexions d'élément à élément et les organes de fixation des électrodes; le panneau supérieur assure une fermeture étanche et porte les bornes de prise de courant. Entre le bac et le couvercle on interpose un joint en caoutchouc et le tout est appliqué contre le bac par des ressorts.

Pour les batteries de voitures automobiles, F. Livon (2) emploie des bacs en verre portant des bossages dans lesquels passent les tringles d'assemblage munies d'écrous de serrage à leurs extrémités. Des bandes ou rondelles de caoutchouc sont intercalées entre les bacs. D'autres sont placées sous les bacs.

Afin d'empêcher la sortie du liquide dans n'importe

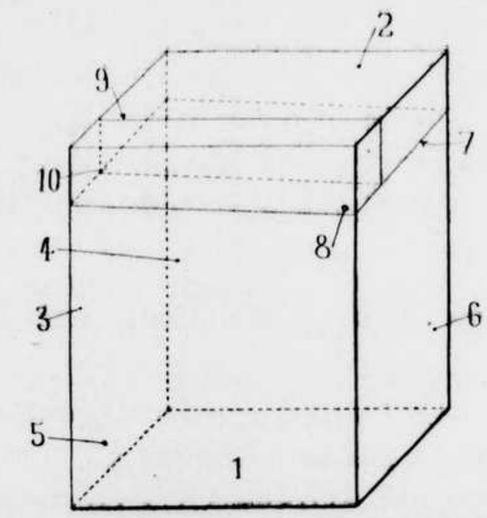


Fig. 18. — Vue perpective schématique du dispositif F. Livon.

quelle position du bac, F. Livon (3) emploie le dispositif représenté schématiquement en figure 18.

(1) Bac d'accumulateur en verre matelassé. *Brevet français n° 647 874*, demandé le 13 janvier 1928, délivré le 6 août 1928, publié le 3 décembre 1928, 96 lignes, 4 figures.

(2) Bac pour accumulateurs multiples de lampes électriques de mine. *Brevet français n° 648 692*, demandé le 13 février 1928, délivré le 20 août 1928, publié le 12 décembre 1928, 98 lignes, 3 figures.

(3) Dispositif de fermeture hermétique d'accumulateurs électriques. *Brevet français n° 666 773*, demandé le 12 mars 1928, délivré le 28 mai 1929, publié le 5 octobre 1929, 100 lignes, 5 figures.

(1) Bac d'accumulateur. *Brevet français n° 657 882*, demandé le 20 juillet 1928, délivré le 21 janvier 1929, publié le 28 mai 1929, 91 lignes, 5 figures.

(2) Bac en verre avec connexions permettant de former des batteries d'accumulateur électrique pouvant résister aux trépidations. *Brevet français n° 664 715*, demandé le 16 octobre 1928, délivré le 29 avril 1929, publié le 6 septembre 1929, 122 lignes, 3 figures.

(3) Dispositif empêchant la sortie de l'électrolyte liquide par les trous d'évent dans les accumulateurs électriques. *Brevet français n° 669 041*, demandé le 4 février 1929, délivré le 27 juillet 1929, publié le 9 novembre 1929, 138 lignes, 6 figures.

Ce dispositif consiste en une cloison 7 légèrement inclinée par rapport au fond 1 et au couvercle 2. La chambre ainsi constituée, dont le volume peut être réduit par la cloison 9, communique avec le compartiment de l'élément par l'évent 8 de très petit diamètre. Un autre trou capillaire 10 assure la communication avec l'extérieur par les évents d'un bouchon non représenté.

Quelle que soit la position du bac, l'électrolyte ne s'en échappe pas. Dans les cas où l'évent 8 est noyé, il ne peut s'échapper dans le compartiment intermédiaire qu'une petite quantité de liquide puisque l'air ne peut pas rentrer par l'évent capillaire. Cette petite quantité de liquide revient dans l'élément par l'évent 8, lorsque le bac est remis en position normale.

Le bac W.-R. Edwards de la Société Rowland Edwards and Company ltd (1) est constitué de telle manière que l'accumulateur peut être retourné dans une direction quelconque sans que l'électrolyte liquide se répande.

La bac possède une paroi interne au-dessus des plaques et l'entrée menant au dispositif d'évent des gaz, qui se trouve à l'extrémité de la paroi, est au dessus du niveau de l'électrolyte, que l'accumulateur soit droit ou renversé de haut en bas.

Le bac possède un espace inactif en dehors des plaques, de sorte que la paroi interne peut s'étendre au delà des plaques et peut laisser subsister un passage à la fin de la paroi pour que l'électrolyte puisse couler par ce passage lorsque l'accumulateur est renversé de haut en bas.

Le dispositif d'évent comprend au moins deux chambres de chicane disposées transversalement, la chambre interne étant disposée au centre de la paroi interne et étant comprise dans cette paroi. La chambre de chicane interne possède à l'intérieur une plaque de chicane en V. Une plaque de chicane inclinée protège l'extrémité de la chambre de chicane interne. Une autre plaque de chicane, inclinée dans la direction opposée, part de l'espace inactif.

La Compagnie générale d'Electricité (2) obtient une fermeture étanche de l'élément par le dispositif de couvercle représenté en coupe verticale par la figure 19.

Il comprend une petite boîte en ébonite a ouverte vers le haut, dont le fond porte deux pièces b dans lesquelles sont logés et fixés par vulcanisation les deux pôles c. Le fond de cette boîte porte, en outre, le tube de remplissage d pouvant être fermé et un tube capillaire oblique e servant à l'évacuation des gaz.

(1) Perfectionnements aux boîtes ou récipients pour accumulateurs électriques. *Brevet français n° 670 200*, demandé le 23 février 1929, délivré le 17 août 1929, publié le 26 novembre 1929, 408 lignes, 5 figures.

(2) Fermeture pour accumulateur au plomb. *Brevet français n° 670 676*, demandé le 1er mars 1929, délivré le 24 août 1929, publié le 2 décembre 1929, 55 lignes, 1 figure.

Cette petite boîte a est fermée par le couvercle f auquel est fixé le tube g évacuant les gaz à l'extérieur. Une

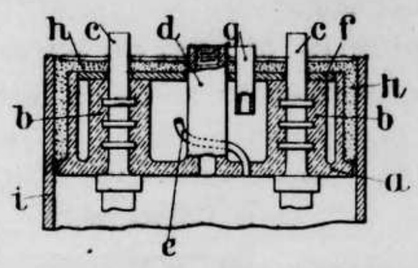


Fig. 19. — Coupe verticale du dispositif de fermeture étanche employé par la Compagnie générale d'Electricité.

matière de remplissage h réalise la fermeture étanche aux gaz et au liquide.

Pour obtenir un accumulateur inversable, particulièrement applicable aux postes valises de téléphonie sans fil, la Société Accumulateurs, Piles, Appareillage (1) emploie le dispositif représenté en coupe verticale par la figure 20.

Dans le bac 1 en celluloïd, les plaques 2 ne dépassent pas la moitié environ de la hauteur, le liquide arrivant au niveau 7 légèrement supérieur à celui des plaques.

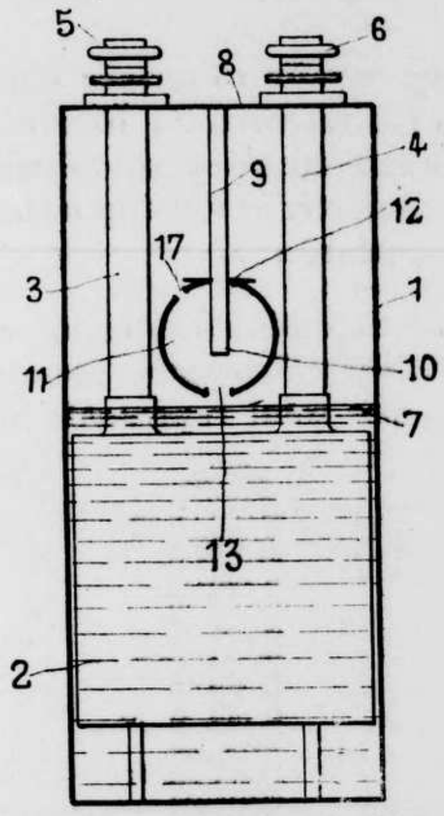


Fig. 20. — Coupe verticale d'un dispositif d'inversabilité des accumulateurs.

Au milieu de la face supérieure 8 du bac débouche un tube étroit 9 dont l'extrémité 10 est entourée d'une boule 11 soudée sur lui en 12 et présentant à sa partie inférieure un trou 13.

Que le bac soit couché ou renversé, le niveau du liquide reste au-dessous de cet orifice 13 et il ne peut y avoir d'écoulement. Et si, par suite de secousses, une petite quantité de liquide passait en 13, elle resterait dans la boule 11. En position normale, cette petite quantité retomberait dans l'élément, l'air rentrant par un petit orifice supérieur 17.

(1) Accumulateurs. *Brevet français n° 671 592*. demandé le 16 mars 1929, délivré le 7 septembre 1929, publié le 14 décembre 1929, 157 lignes, 4 figures.

b. *Bouchons.*— Le bouchon C.-H. Everett(1)est constitué en vue d'arrêter les vésicules acides sans s'opposer au dégagement gazeux.

La figure 21 montre le haut du bac 10 avec son couvercle 11. Sur celui-ci on visse en 12 le bouchon spécial

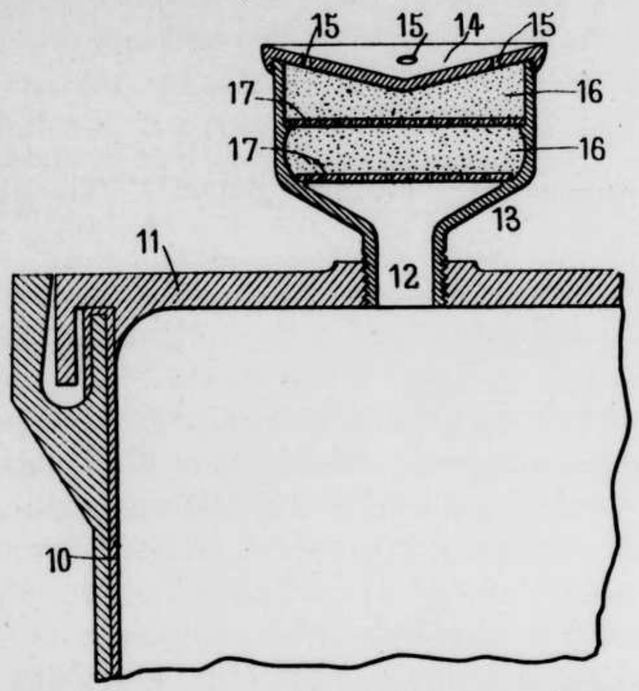


Fig. 21. — Coupe verticale d'une partie de bac montrant le mode de fixation du bouchon.

comportant une cuvette 13 fermée par un chapeau 14 muni de trous 15. La matière filtrante qui arrête les vésicules retombant ensuite goutte à goutte dans le bac, est de la mousse de verre 16 supportée par les plaques de caoutchouc perforé 17.

Pour éviter la sulfatation des négatives par l'oxygène de l'air, C.-J.-V. Féry (2) emploie pour fermer l'élément un bouchon tel que celui représenté en figure 22. Sur

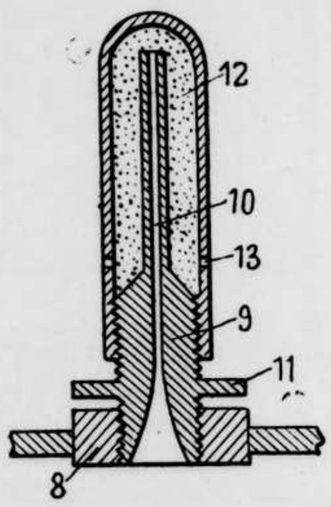


Fig. 22. — Coupe verticale d'un bouchon.

le corps 9 de ce bouchon s'adapte, par vissage, une cloche 12 remplie de matière poreuse (coton, fibres d'amiante, etc.) et qui est percée d'orifices 13 à sa partie inférieure.

Pendant la charge, les gaz s'échappent librement. Après la charge, l'air extérieur ne peut plus rentrer dans la cloche qui est remplie d'un gaz plus léger que l'air (azote et hydrogène).

Le corps 9 se visse dans l'écrou 8 du couvercle à l'aide du bouton molleté 11.

Dans la lampe de mine, à accumulateurs, la Société d'Eclairage et d'Applications électriques (1) monte les bouchons d'obturation des orifices des accumulateurs sur un support qui peut subir un mouvement de translation pour s'écarter ou se rapprocher des orifices et un mouvement angulaire pour dégager les orifices et permettre le remplissage.

Pour permettre le dégagement gazeux, tout en empêchant l'écoulement du liquide même quand l'élément est retourné, la Compagnie générale d'Electricité (2) fait usage du bouchon à soupape représenté en coupe verticale sur la figure 23.

La bague a, filetée à l'intérieur, est soudée au couvercle b. Le corps de la soupape d est vissé sur la

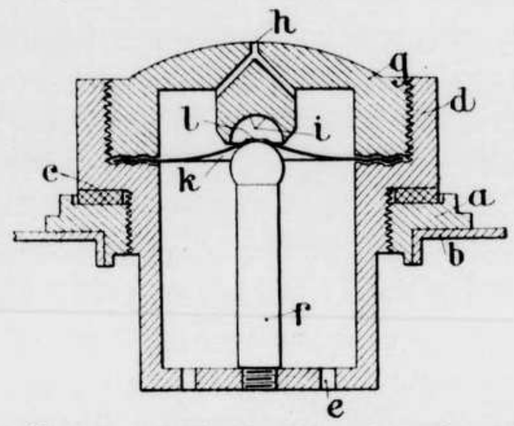


Fig. 23. — Coupe verticale d'un bouchon à soupape.

bague par l'intermédiaire du joint étanche c. Ce corps est fermé par le couvercle vissé g pourvu de l'orifice de dégagement gazeux h et de l'écran i.

La membrane de caoutchouc serrée entre les deux possède une ouverture centrale l d'un diamètre inférieur à celui de la tige f qui la maintient tendue. Quand la pression intérieure des gaz arrivant en e est supérieure à la tension de la membrane, celle-ci se détache de la partie supérieure de la tête et laisse échapper les gaz, après dépôt des gouttelettes liquides entraînées sur l'écran i.

La membrane de caoutchouc peut être remplacée par une mince pellicule métallique (acier dans le cas de l'accumulateur alcalin).

Le bouchon G. Petit (3) représenté en coupe verti-

(1) Perfectionnements aux batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 618 453*, demandé le 3 juillet 1926, délivré le 13 décembre 1926, publié le 10 mars 1927, 66 lignes, 1 figure.

(2) Bouchon protecteur pour conserver la charge et éviter la sulfatation des accumulateurs au plomb. *Brevet français n° 633 179*, demandé le 12 août 1926, délivré le 22 octobre 1927, publié le 24 janvier 1928, 274 lignes, 4 figures.

(1) Dispositif obturateur destiné en particulier aux orifices de remplissage des accumulateurs pour lampes de mines. *Brevet français n° 636 652*, demandé le 20 octobre 1926, délivré le 14 janvier 1928, publié le 14 avril 1928, 117 lignes, 2 figures.

(2) Soupape pour éléments d'accumulateurs. *Brevet français n° 639 892*, demandé le 22 août 1927, délivré le 17 mars 1928, publié le 2 juillet 1928, 83 lignes, 2 figures.

(3) Dispositif évitant l'écoulement du liquide dans les récipients tels que bacs d'accumulateurs et analogues. *Brevet français n° 668 811*, demandé le 31 janvier 1929, délivré le 22 juillet 1929, publié le 7 novembre 1929, 72 lignes, 4 figures.

cale par la figure 24, est conçu de manière à éviter la chute de liquide en cas de renversement de l'élément. Ce bouchon 1 renferme une chambre intérieure 2 dont le fond 6 est percé de trous 3. Un tube 4 porte le disque 5 ajusté de façon que le tube 4 s'arrête à quelques mil-

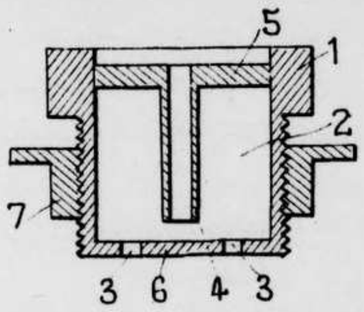


Fig. 24. — Coupe verticale du dispositif évitant l'écoulement du liquide.

limètres au-dessus du fond 6. La chambre 2 est remplie de matière spongieuse (coton hydrophile, gomme, ouate de verre, etc.). Les gaz s'échappent normalement en traversant cette matière. En cas de renversement la matière absorbante, s'imprégnant de liquide, se dilate et remplit complètement la chambre en s'opposant à l'écoulement du liquide.

c) *Séparateurs.* — C'est pour retenir la matière active positive que la Société anonyme des Accumulateurs Monoplaque (1) enveloppe l'électrode positive ainsi qu'il est représenté en figure 25. La grille positive, comportant le cadre 1 muni de la queue 2 et les nervures 3 et

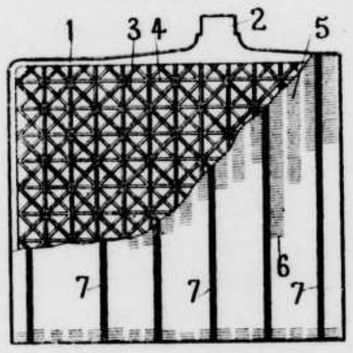


Fig. 25. — Electrode positive enveloppée pour le maintien de la matière active.

4, est garnie de matière active. On dispose ensuite l'enveloppe 5 en matière isolante transparente (celluloïd, acétate de cellulose, par exemple) dans laquelle sont ménagées des fentes pratiquées suivant une développante d'hélice. Ces fentes, à lèvres jointives, sont obtenues en pratiquant simplement des incisions sans écartement des bords. Des nervures de renforcement, 7, en même matière sont collées sur cette enveloppe pour assurer l'écartement des plaques.

Dans une variante de ce montage, la Société des Accumulateurs Monoplaque (2) replie simplement autour de chaque plaque positive la feuille transparente munie de ses fentes, puis interpose un séparateur en bois à nervures verticales entre la feuille transparente et la plaque négative voisine, le côté plan du séparateur s'appliquant sur la plaque négative.

Pour protéger de l'action de l'oxygène de l'air les plaques négatives déjà entourées d'une gaine imperméable aux gaz et ouverte à ses deux extrémités, gaine destinée à éviter l'action des produits oxydants des positives, C.-J.-V. Féry (1) recouvre l'électrolyte d'une couche d'huile. Dans le cas d'élément à électrolyte immobilisé, il monte les plaques négatives à un niveau inférieur à celui des positives afin d'augmenter la hauteur de matière immobilisante entre la partie supérieure des négatives et l'air.

Un autre dispositif adopté dans le même but par C.-J.-V. Féry (2) consiste à coiffer la partie supérieure de chaque plaque négative c d'une cloche parallélèpipédique f (fig. 26), en ébonite ou en celluloïd, munie d'une tubulure f_1 dans laquelle passe la queue cylindri-

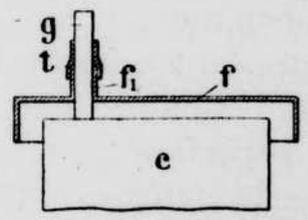


Fig. 26. — Coupe du mode de montage de la cloche sur les négatives.

que g de la plaque, un tube de caoutchouc t formant joint. Cette cloche, ouverte en bas, s'ajuste par ses grandes faces sur les séparateurs latéraux. Dans le sens de la longueur, il y a un jeu sur les deux côtés pour le dégagement de l'hydrogène. Ces séparateurs latéraux représentés en figure 27 comprennent deux feuilles de bois d dont les nervures verticales d_1 s'appliquent

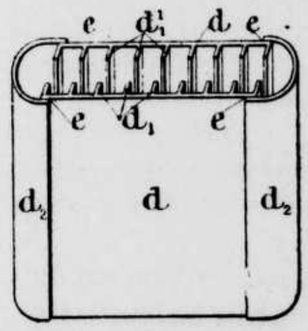


Fig. 27. — Vue perspective du séparateur.

sur la négative et qui sont réunies par deux gouttières demi-cylindriques d_2 en celluloïd collées à l'acétate d'amyle en e sur le bois. Des séparateurs auxiliaires en ébonite empêchent le contact du bois avec les plaques positives.

(1) Système d'isolement pour plaques d'accumulateurs électriques. *Brevet français n° 628 618*, demandé le 15 avril 1926, délivré le 4 juillet 1927, publié le 26 octobre 1927, 150 lignes, 2 figures.

(2) Système d'isolement pour plaques d'accumulateurs électriques. *1re Addition n° 32 695* au *Brevet français n° 628 618*, demandée le 17 juin 1926, délivrée le 11 octobre 1927, publiée le 15 février 1928, 92 lignes, 3 figures.

(1) Dispositif séparateur pour accumulateurs électriques au plomb. *1re Addition n° 32 646* au *Brevet français n° 611 129*, demandée le 26 avril 1926, délivrée le 4 octobre 1927, publiée le 14 février 1928, 167 lignes, 2 figures.

(2) Dispositif séparateur pour accumulateurs électriques au plomb. *2e Addition n° 34 129* au *Brevet français n° 611 129*, demandée le 22 juillet 1927, délivrée le 20 novembre 1928, publiée le 2 mai 1929, 203 lignes, 5 figures.

Afin de maintenir la matière active dans la grille, W.-B. Stone (1) applique sur elle un dispositif de retenue comprenant, comme indiqué en figure 28, la flasque 13 appuyant sur la grille et les nervures de

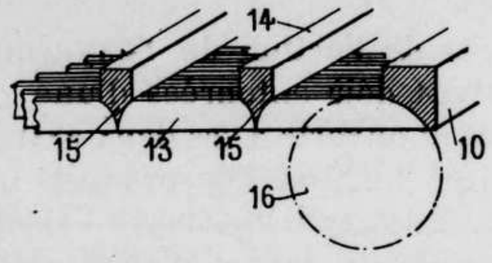


Fig. 28. — Vue perspective d'une partie du dispositif de W.-B. Stone pour la retenue de la matière active.

renforcement 14. Entre deux nervures, le flasque porte un grand nombre de fentes étroites et rapprochées. Les nervures sont, d'autre part, échancrées en 15 à l'aide d'une scie 16, par exemple. C'est sur les nervures 14 que l'on applique le séparateur en bois.

Dans les séparateurs constitués par une feuille de bois maintenue par des baguettes de même matière fendues suivant leur longueur, la Compagnie générale d'Electricité (2) remplace les baguettes en bois par des baguettes en matière moulée, telle que l'ébonite, qui ont une durée très supérieure.

Comme le montre la figure 29 (vue en élévation), le séparateur comprend la feuille de bois a et les baguettes

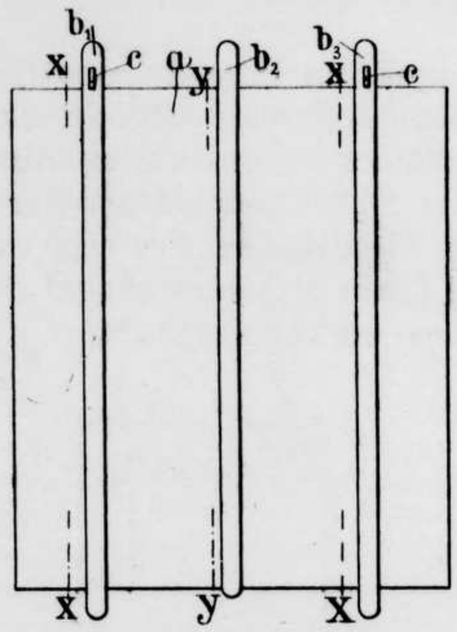


Fig. 29. — Vue en élévation d'un séparateur avec baguettes d'écartement.

en ébonite b_1, b_2, b_3, de section carrée et fendues suivant une diagonale. La baguette b_2 est fendue jusqu'en bas, les extrêmes b_1 et b_3 ont leurs fentes s'arrêtant à une certaine distance de la partie inférieure. Ces baguettes extrêmes portent à leur partie supérieure un ergot c à l'aide duquel elles reposent sur le bord supérieur d'une électrode.

(1) Perfectionnements aux accumulateurs. *Brevet français n° 616 522*, demandé le 22 mai 1926, délivré le 29 octobre 1926, publié le 3 février 1927, 134 lignes, 5 figures.

(2) Séparateur avec baguettes d'écartement pour accumulateurs électriques au plomb. *Brevet français n° 619 891*, demandé le 28 juin 1926, délivré le 11 janvier 1927, publié le 11 avril 1927, 62 lignes, 4 figures.

Les séparateurs en bois à nervures ont généralement leurs nervures dans la direction des fibres du bois.

Afin d'augmenter la résistance mécanique de tels séparateurs, la Compagnie générale d'Electricité (1) dispose les nervures obliquement par rapport aux fibres du bois.

Le séparateur G. Dropsy (2) en matière isolante (en bois par exemple) est représenté en plan par la figure 30

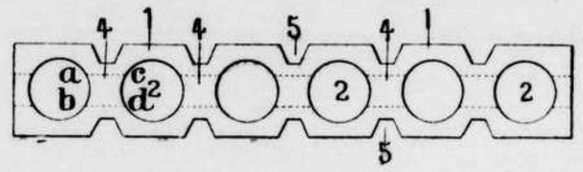


Fig. 30. — Plan du séparateur G. Dropsy.

et en coupe verticale transversale (suivant 4-5 de la figure 30) par la figure 31.

Ce séparateur est en une seule pièce et comporte des logements cylindriques 2 destinés à recevoir les élec-

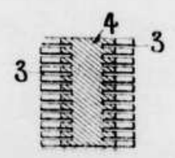


Fig. 31. — Coupe verticale transversale du séparateur G. Dropsy.

trodes. Il est percé de fentes horizontales 3 en réservant les parties renforcées 4, limitées en a b c d, qui assurent la rigidité de l'ensemble. Les rainures verticales 5 sont ménagées pour la circulation du liquide.

Au lieu d'être horizontales, les fentes peuvent être inclinées. Le séparateur peut ne pas être d'une seule pièce, mais obtenu par superposition de plusieurs feuilles minces collées ou non aux feuilles de renforcement.

Le séparateur de la Société anonyme des Accumulateurs Monoplaque (3) est caractérisé par ce fait qu'il possède des fentes 8 irrégulières (fig. 32) obtenues en soumettant le séparateur à un laminage déterminant des dépressions triangulaires par allongement de la matière et provoquant sur les sommets de ces dépressions des déchirures. Les fentes irrégulières ainsi obtenues et destinées à assurer la circulation de l'électrolyte, ne peuvent plus se refermer sous l'influence de la température.

(1) Séparateurs pour accumulateurs électriques au plomb constitués par des plaques de bois renforcées de nervures. *Brevet français n° 619 892*, demandé le 28 juin 1926, délivré le 11 janvier 1927, publié le 11 avril 1927, 31 lignes, 2 figures.

(2) Perfectionnements aux accumulateurs électriques. *Brevet français n° 640 586*, demandé le 11 décembre 1926, délivré le 2 avril 1928, publié le 17 juillet 1928, 139 lignes, 6 figures.

(3) Procédé et dispositifs pour la fabrication de séparateurs isolants pour plaques d'accumulateurs et autres applications. *Brevet français n° 643 932*, demandé le 16 avril 1927, délivré le 22 mai 1928, publié le 25 septembre 1928, 206 lignes, 6 figures.

La machine à produire ces fentes comprend deux rouleaux munis de dents qui s'entrepénètrent, les dents de l'un étant aiguës et celles de l'autre, arrondies. Ces rouleaux sont séparés par une distance inférieure à l'épaisseur du séparateur de façon à produire l'étirage de la matière, les fentes étant obtenues par déchirure de celle-ci aux sommets aigus des dents d'un des rouleaux.

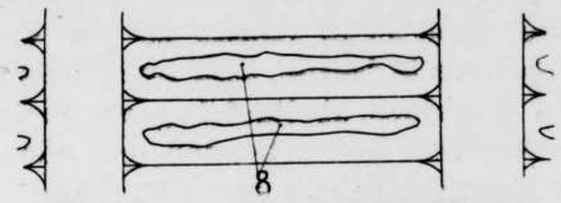


Fig. 32. — Plan schématique montrant les orifices ménagés dans les séparateurs.

Comme séparateur dans les accumulateurs de lampes de mines, la Société Concordia Elektrizitäts-A.-G. (1) emploie des tubes en celluloïd assemblés par leurs extrémités inférieures avec les tasseaux supports des plaques. A la partie supérieure, ils sont fixés sur les électrodes par des vis ou des goupilles en matière isolante. Ces tubes sont aplatis en plusieurs endroits et présentent en ces endroits des ouvertures en forme de fentes verticales.

Le séparateur A.-A. Touzot (1) est en cellulose (bois ou pâte de bois comprimé) imprégnée de produits minéraux solubles susceptibles de précipiter un élément insoluble (imprégnation de silicates alcalins, de sels de baryum ou de calcium). Après l'imprégnation, on peut éventuellement procéder à une déshydratation et à une élimination des produits autres que les produits insolubles résultant de l'imprégnation.

Pour diminuer la résistance électrique des séparateurs en bois, E. Parvillé et la Société financière pour le Développement de la Traction par Accumulateurs (1) perforent ces séparateurs d'un grand nombre de trous très fins, autant que possible capillaires. Cette opération peut se faire au moyen d'une aiguille actionnée comme celle d'une machine à coudre (dans ce cas on mouille d'abord le séparateur). On peut aussi employer une pointe rougie analogue à celle d'un thermocautère. Dans un troisième procédé, on perfore au moyen d'étincelles électriques : on provoque une série d'étincelles entre deux pointes et on déplace le séparateur entre ces pointes. Les étincelles sont obtenues à l'aide d'une bobine de Ruhmkorff et un trembleur ou avec un rupteur mécanique ou en utilisant la décharge d'un condensateur.

(*A suivre*) L. Jumau.

(1) Supports de plaques d'accumulateurs électriqnes, particulièrement pour les lampes électriques de mines. *Brevet français n° 648 690*, demandé le 13 février 1928, délivré le 20 août 1928, publié le 12 décembre 1928, 101 lignes, 3 figures.

(1) Séparateur pour accumulateurs électriques et procédé de fabrication de ce séparateur. *Brevet français n° 650 401*, demandé le 3 mars 1928, délivré le 18 septembre 1928, publié le 9 janvier 1929, 127 lignes.

(2) Perfectionnements aux séparateurs pour accumulateurs. *Brevet français n° 670 901*, demandé le 30 juin 1928, délivré le 26 août 1929, publié le 6 décembre 1929, 52 lignes.

La station d'essais à deux millions de volts de la Porzellanfabrik Ph. Rosenthal à Selb

La nécessité de faire appel à des tensions de plus en plus élevées sur les lignes de transmission d'énergie électrique a conduit certains constructeurs spécialisés dans la fabrication du matériel de ces lignes à créer des stations d'essais pourvues de transformateurs fonctionnant à des tensions dont la limite extrême est celle compatible avec l'état actuel de la technique. Tel est le cas de la station d'essais de la Porzellanfabrik Ph. Rosenthal et Cie, dont l'article qui suit donne un aperçu descriptif inspiré d'une étude publiée dans « Elektrotechnische Zeitschrift » (*). Les caractéristiques principales de cette installation sont, d'une part, la présence d'un transformateur d'essais à deux millions de volts constitué par deux unités dont les enroulements secondaires sont montés en série et donnant chacun une tension d'un million de volts par rapport à la terre, d'autre part, un dispositif d'essais par à-coups de tension continue pouvant s'élever à 2200 kilovolts par rapport à la terre.

I. **Disposition des bâtiments.** — Cette station dont l'édification a été entreprise en 1928, a été mise récemment en service. Conçue d'après les derniers progrès réalisés dans la technique des tensions très élevées, elle peut être considérée comme un modèle des installations de ce genre.

Le grand local d'essais, dont la figure 1 montre la vue intérieure, présente une superficie de 30 m × 22 m et une hauteur d'environ 21 m. Aucun pilier ne soutient le plafond qui repose librement sur les murs; d'autre part, comme la plupart des essais doivent être effectués dans l'obscurité, ce bâtiment ne comporte pas de fenêtres. On a choisi un mode de construction combiné, en fer et en béton armé, qui a été reconnu comme étant de beaucoup le plus économique pour un bâtiment de ce genre, établi avec de grandes portées et appelé à supporter des charges considérables. Malgré la présence d'une toiture en terrasse prévue pour les essais en plein air et calculée pour une charge surfacique

(*) K. Draeger. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 26 juin 1930, t. 51, p. 933-937.

utile de 300 kg : m², les frais de construction pour l'espace bâti n'ont guère atteint que 11 marks par mètre cube, y compris les dépenses très élevées entraînées par les fondations et le sous-sol de la salle des machines, en raison de la nature rocheuse du terrain.

L'ossature du bâtiment est constituée par des piliers en béton fortement armé, de 100 cm × 50 cm de section; les murs sont en béton de pierre ponce également armé de barres de fer pour résister aux fortes pressions du vent. Tous les fers d'armature sont reliés entre eux de manière à former une cage fermée qui empêche la propagation à l'extérieur des perturbations occasionnées par les oscillations à haute fréquence. Les fermes métalliques, de 2 m et 2,5 m de hauteur, reposent sur les piliers en béton. La toiture est en briques creuses. Quatre tribunes superposées, à des hauteurs de 3,5, 7, 10 et 18 m, occupent un tiers du local d'essais sur la partie antérieure.

Pour amener le conducteur de tension sur le terrain prévu pour les essais en plein air, on a ménagé deux ouvertures circulaires, l'une pratiquée dans la toiture de 5 m de diamètre, pour 1 000 kv et l'autre de plus de 8 m de diamètre ménagée dans la façade, pour une tension de 2 000 kv.

La salle des machines, abritant le groupe moteur-générateur et les cellules à haute tension, est adossée au local d'essais. Les locaux à l'étage supérieur sont aménagés en salles de mesure et en bureaux.

Les dimensions du bâtiment ont été déterminées par celles des machines et par les distances minima admissibles entre

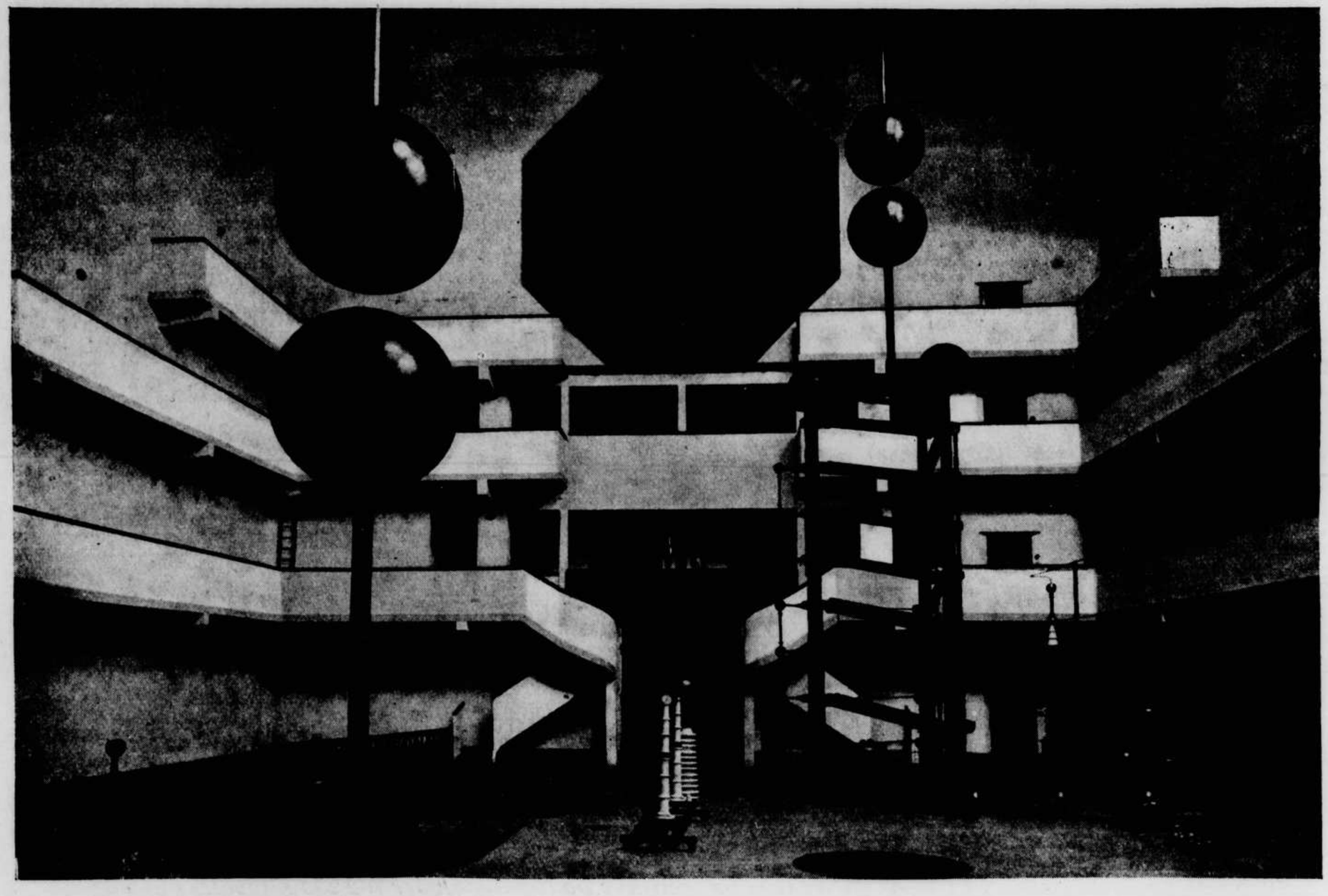


Fig. 1. — Vue intérieure du grand local d'essais avec tribunes : à gauche, éclateur à sphères; à droite, installation d'essais à choc de courant continu.

conducteurs et entre conducteurs et la terre. Comme on a pris soin de donner aux murs une surface parfaitement unie, en évitant tout angle et toute arête, on peut estimer la résistance disruptive de l'air à 4 kv : cm. Les distances minima entre conducteurs atteignent donc, pour 1 000 kv, 2,5 m et, pour 2 000 kv, 5,0 m ; entre les parties sous tension et la terre on les a choisies à raison de 3,5 et 6 m environ. Pour le montage des appareils à essayer et pour le transport des chaînes d'isolateurs, il est prévu un chariot dont la poutre est accrochée aux fermes. Des coudes établissent la liaison entre les différentes fermes, de sorte qu'on peut desservir tout le local d'essais avec le chariot et utiliser néanmoins des chaînes fixées entre les fermes pour la suspension des appareils à isoler.

Le chauffage du grand local d'essais dont le volume dépasse 13 000 m³ s'effectue avec l'air chaud aspiré dans les fours à porcelaine de la fabrique, après leur extinction. Non seulement on évite ainsi presque entièrement les frais de chauffage, mais on peut aussi chauffer le local en une durée d'environ une demi-heure.

La figure 1 montre la disposition générale des appareils dans le grand local d'essais.

II. **Transformateur d'essai.** — La mise à la terre d'un pôle a été prévue tant pour l'installation à tension alternative que pour celles destinées à produire les chocs sous tension continue et à haute fréquence. L'obtention d'une puissance de décharge suffisamment élevée a conduit à l'adoption de machines et de transformateurs de construction spéciale. Mais comme il n'était pas possible, dans l'état actuel de la

technique de réaliser un transformateur donnant une tension de 2000 kv entre conducteur et terre, on a prévu deux transformateurs de 1 000 kv chacun, dont les enroulements à haute tension sont couplés en série et ceux à basse tension, en parallèle. Le second transformateur est installé sur une table isolée pour 1 000 kv par rapport à la terre et il reçoit son excitation d'un transformateur intermédiaire monté sur une table isolée pour 500 kv par rapport à la terre. Ce transformateur intermédiaire ne comporte que quelques spires d'un câble spécial pour une tension d'essai de 550 kv et dont la capacité détermine la division de la tension. Le premier transformateur de 1 000 kv déjà en service est d'une construction spéciale et présente un encombrement extrêmement réduit. Outre un type semblable installé dans l'usine de transformateurs de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, c'est le seul transformateur construit jusqu'ici pour une tension de 1 000 kv par rapport à la terre. Sa puissance est de 1 000 kv-A ; son rapport de transformation de $4 \times 2{,}1/1\,000$ kv et il peut être connecté pour 500 et 250 kv. Sa tension de court-circuit atteint 7 pour 100, comme l'augmentation relative de tension maximum à pleine charge. A la charge habituelle de 0,1 A, correspondant aux essais d'isolateurs au-dessous de la tension de disrupture, l'augmentation relative de tension n'est guère que de 1 pour 100.

La figure 2 représente une vue de ce transformateur. Son encombrement extrêmement réduit résulte de la répartition du champ le long de l'enroulement, qui croît ou décroît d'une manière continue. Le noyau de fer, du type cuirassé, a une hauteur de 2 630 mm et une largeur de 2 820 mm. Le diamètre de la cuve est réduit du double de la largeur des noyaux extérieurs. Des évidements sont prévus dans la cuve pour ces noyaux, ce qui a permis de réaliser une économie d'huile considérable.

L'isolateur de traversée est formé de cylindres concentriques de papier comprimé dont les intervalles sont remplis d'huile ; il se termine par une sphère de 1 000 mm de diamètre. Pour éviter les phénomènes de rayonnement au- dessus de 800 kv, on a rivé sur la sphère des bandes de tôle tranchantes qui portent la tension d'effluve à plus de 1 000 kv. Le poids total de ce transformateur est de 31 t. Les pertes dans le cuivre, à pleine charge, atteignent 13 kw ; celles dans le fer, pour l'induction normale, 40 kw.

Lors des essais de réception, le transformateur a été essayé durant 3 minutes, avec autoexcitation, sous 1 100 kv. Comme protection on a intercalé entre le transformateur et l'éclateur à sphères des résistances d'amortissement, d'une valeur totale de 100 000 ohms.

III. **Alimentation du transformateur d'essai.** — On dispose de courant triphasé à 5 kv, de sorte que le moteur du groupe convertisseur est directement raccordé au réseau à haute tension. L'alternateur monophasé est directement accouplé avec le moteur triphasé.

La détermination de la puissance nécessaire à l'alimentation des transformateurs a été basée sur le fait que les pertes totales de l'installation atteignent environ 240 kw sous 2 000 kv ; il fallait donc choisir pour le groupe convertisseur un moteur d'une puissance de 440 kw à 50 p:s afin d'avoir encore en réserve une puissance suffisante lors de l'amorçage d'un arc. On a pu ainsi éviter l'adoption d'un volant. Le moteur est prévu avec dispositif de changement du nombre de pôles pour permettre la production d'une fréquence de 50 p:s. De plus, en intercalant des résistances dans le circuit du rotor on peut, en outre, réduire encore le nombre de tours de 33,5 pour 100 et disposer ainsi d'une gamme de fréquences de 16 2/3 à 50 p:s. Un dispositif, du système Ward Léonard, est prévue pour une extension ultérieure, qui permettra d'obtenir un réglage sans pertes avec des fréquences jusqu'à 60 p:s.

L'alternateur a été calculé pour un courant de court-circuit aussi intense que possible, ce qui a nécessité une construction spéciale. Les deux transformateurs de 1 000 kv

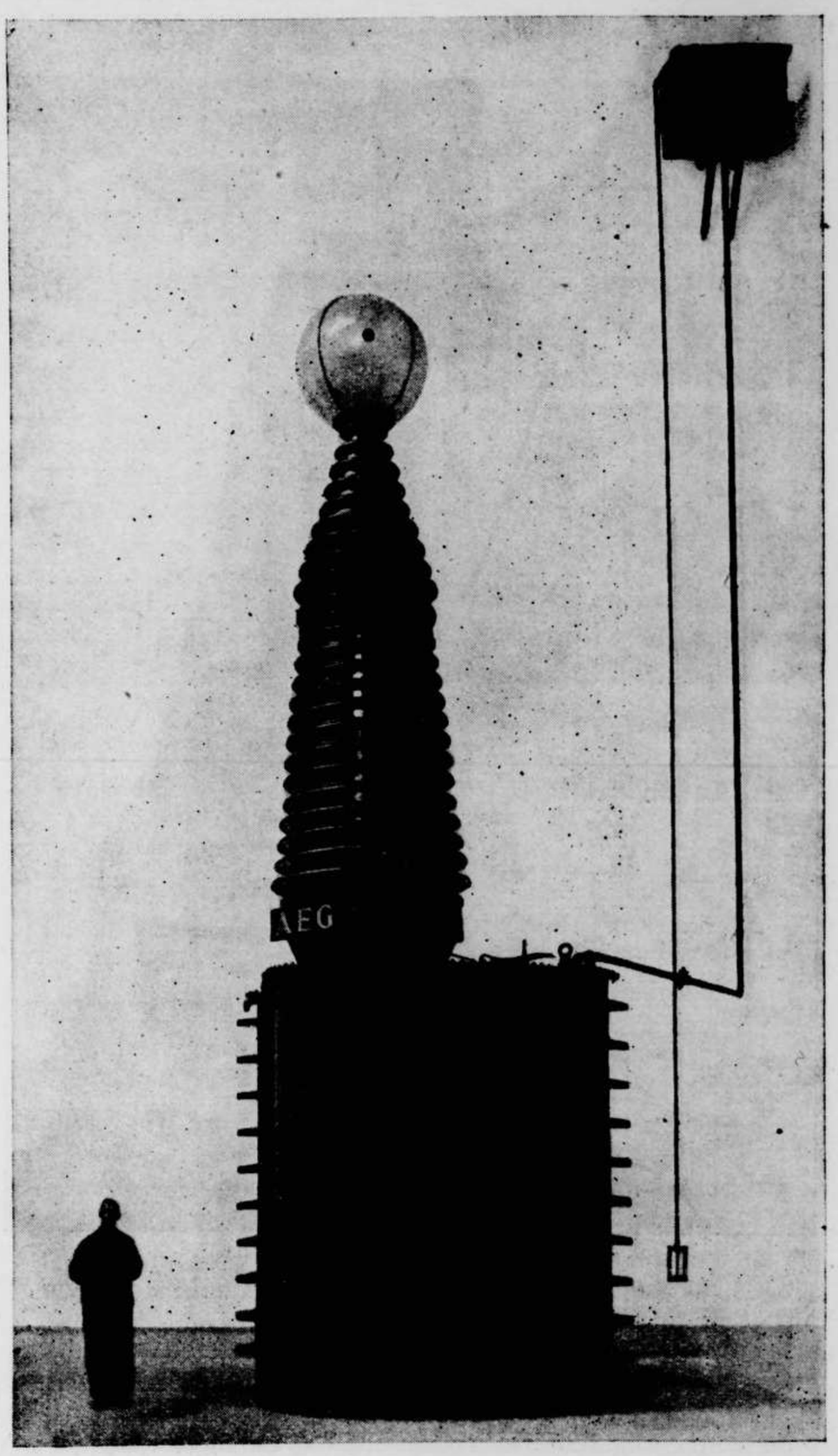


Fig. 2. — Vue du transformateur à 1 million de volts.

absorbent chacun une puissance réactive de capacité de 500 kv-A, la réactance de capacité dépassant de beaucoup celle d'induction. Mais pour maintenir un arc intense, et de longue durée, il faut surexciter l'alternateur et, par suite, le faire travailler avec une charge inductive. On a donc, suivant la proposition de W. Petersen, raccordé en parallèle aux bornes de l'alternateur, une bobine d'inductance sans fer, d'une puissance de 1 000 kv-A sous 1 000 kv et de 2 000 kv-A sous 2 000 kv. De ce fait, l'alternateur a été calculé pour une puissance maximum de 1 000 kv-A, pour

cos φ = 0, qu'il soit sous-excité ou surexcité, comme pour cos φ = 1. Avec la bobine d'inductance en circuit, il travaille, par conséquent, avec une charge inductive d'environ 450 kv-A sous 1 000 kv et 750 kv-A sous 2 000 kv. L'auto-excitation ne s'établit que vers 1 600 kv-A. La réactance synchrone atteint 2,5 ohms ou 56,8 pour 100, rapportée à 1 000 kv-A. On obtient ainsi un courant de court-circuit permanent égal à 1,76 fois le courant normal, avec l'excitation à vide, et à 3,27 fois le courant normal, avec une excitation correspondant à 1 000 kv-A, pour cos φ = 0, l'alternateur étant surexcité. Pour des machines normales, le courant de court-circuit permanent n'atteint que 1,8 à 2,2 fois le courant normal.

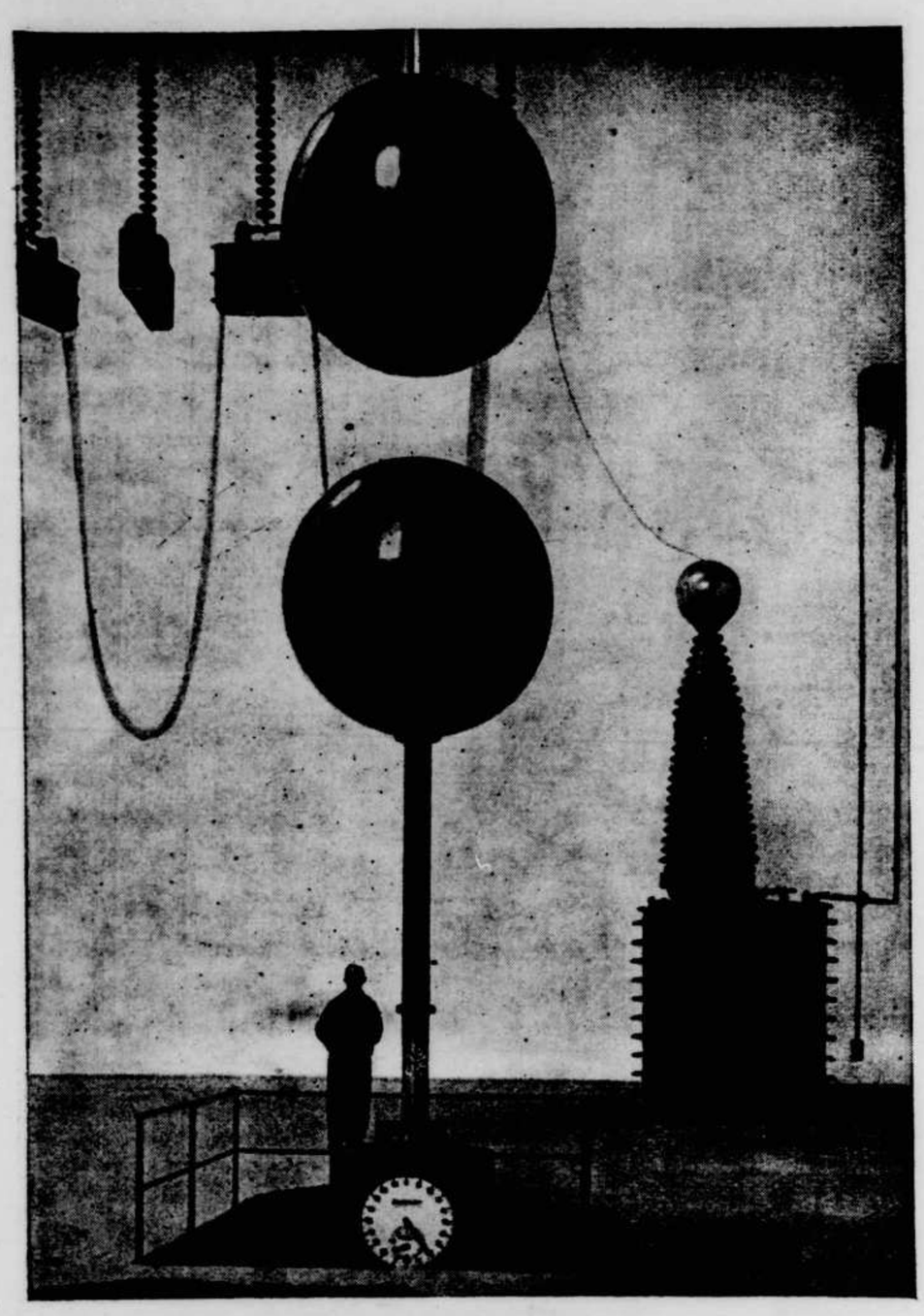


Fig. 3. — Vue de l'éclateur à sphères commandé à distance.

La courbe de tension à vide diffère de moins de 4 pour 100 de la forme sinusoïdale.

Un procédé qui permet d'obtenir pour les mesures une courbe de tension sinusoïdale consiste à établir la résonance entre l'inductance des bobines et la capacité du transformateur.

A l'effet d'affaiblir les harmoniques, on a, en outre, muni l'alternateur d'un enroulement amortisseur très efficace. L'entrefer est réduit à environ 13 mm ; d'autre part, la caractéristique est prévue pour empêcher une brusque chute de tension en cas d'amorçage d'un arc. Le réglage de la tension s'effectue au moyen de résistances dans le circuit inducteur de l'excitatrice et d'un régulateur, à 90 positions, commandé à distance.

IV. **Eclateur pour la mesure de la tension**. — La mesure de la tension s'opère à l'aide d'un éclateur à sphères de 2 400 mm de diamètre, représenté sur la figure 3. Les sphères sont en forte tôle de cuivre de 2,5 mm d'épaisseur, refoulée et solidement étayée à l'intérieur. Elles pèsent chacune environ 700 kg. Leur écartement se lit au cadran d'un indicateur, gradué en centimètres et en millimètres. Comme l'éclateur nécessite une hauteur libre de plus de 20 m, il a été nécessaire de loger son mécanisme de commande dans une fosse creusée dans le sol du local d'essais.

V. **Dispositif d'essais aux ondes à front raide**. — Les nouvelles recherches relatives aux surtensions atmosphériques sur les lignes et le fait que ces surtensions se présentent sous forme de chocs, confèrent actuellement aux essais effectués avec des à-coups de tension continue une importance capitale. Afin de pouvoir aussi réaliser le long de chaînes d'isolateurs à 220 kv des décharges par choc sous tension continue, on a prévu d'emblée une installation donnant une tension de 2 200 kv par rapport à la terre. Cette installation, jusqu'ici la seule de ce genre, a été livrée par la Maison Koch et Sterzel. La production de l'à-coup de tension est basée sur le principe de multiplication de Marx. On a de nouveau attaché une importance capitale à l'obtention d'une puissance et d'une capacité élevées et à la mise à la terre d'un pôle. Pour résoudre la question concernant la disposition des 16 groupes de condensateurs avec 22 condensateurs individuels, on a eu recours à leur échelonnement vertical, ce qui a permis d'obtenir un encombrement extrêmement réduit sur le sol. L'éclateur est monté verticalement sur le croisillon qui maintient assemblées les colonnes isolantes, de sorte que l'installation d'essais aux ondes à front raide occupe une hauteur totale de 18 m sur une surface de base d'environ 20 m² seulement. Le mode de couplage des organes de cette installation ressort du schéma de la figure 4. Le moteur synchrone qui commande le redresseur possède un stator mobile dont la rotation permet de régler la tension. La haute tension s'obtient au moyen d'un transformateur de 15 kv-A disposé sur un transformateur servant lui-même à l'isoler et dont le rapport de transformation est égal à l'unité. Les éclateurs sont à sphères creuses de cuivre, de 150 mm de diamètre ; leur écartement peut être modifié simultanément par un petit moteur. Pour obtenir une très grande capacité on peut coupler tous les condensateurs en parallèle. Le rapport de multiplication est égal à 8 environ. La mesure de la tension s'effectue à l'aide de sphères en cuivre de 1 500 mm dont l'écartement se lit au cadran d'un indicateur.

VI. **Dispositions diverses**. — On a cherché à réduire au strict minimum l'effectif du personnel de service. A cet effet, toutes les manœuvres de couplage s'effectuent à partir d'un poste central, comportant un pupitre de couplage placé au milieu de la tribune inférieure. A l'exception de la mise en route du moteur du groupe de 440 kw, toutes les opérations de couplage ainsi que les mouvements de translation, de levage et de descente du chariot de 3 t sont commandées à distance. Afin de pouvoir aussi effectuer des essais en d'autres points, on a disposé un réseau de conducteurs de mesure à travers tout le bâtiment, sur le toit et sur le terrain d'essais en plein air. Un petit pupitre transportable permet, en tous ces points, de procéder aux manœuvres de couplage, de régler et de mesurer la tension.

Les conducteurs à basse tension sont constitués par des câbles ou des fils posés sous tubes cuirassés, de manière à les soustraire aux effets d'induction ; en outre, tous les tubes

sont reliés entre eux par des tresses de cuivre qui leur sont soudées : tous les dispositifs de sécurité tels que électro-aimants de verrouillage, contacts de portes, etc., ont été installés pour éviter tout accident.

Il a été très difficile d'obtenir une mise à la terre satisfaisante, du fait que le bâtiment est établi sur un sol rocheux et qu'il n'existe pas de nappe d'eau souterraine ; il ne suffisait donc pas de mettre à la terre la charpente en fer du bâtiment. De plus, il n'était pas non plus possible de raccorder au bâtiment le circuit de terre prévu pour le service de la station, car, lors des essais par choc sous tension continue, il se produit des tensions très élevées dans quelques-unes des pièces de fer, bien qu'on puisse admettre que ces dernières présentent entre elles une certaine conductibilité. On a donc séparé la terre de protection de celle prévue pour le service de la station. Toutes les parties en fer qui sont accessibles et ne se trouvent pas normalement sous tension, sont reliées entre elles ainsi qu'aux armatures de fer du bâtiment et aux canalisations d'eau et de gaz. On a pu de la sorte obtenir une mise à la terre relativement satisfaisante. On évite surtout que ces parties n'atteignent des tensions trop élevées. Par contre, le circuit de terre de l'installation d'essais sous tension alternative et surtout celui de l'installation d'essais sous à-coups de tension continue, sont soigneusement isolées du bâtiment et prévues séparément. On a

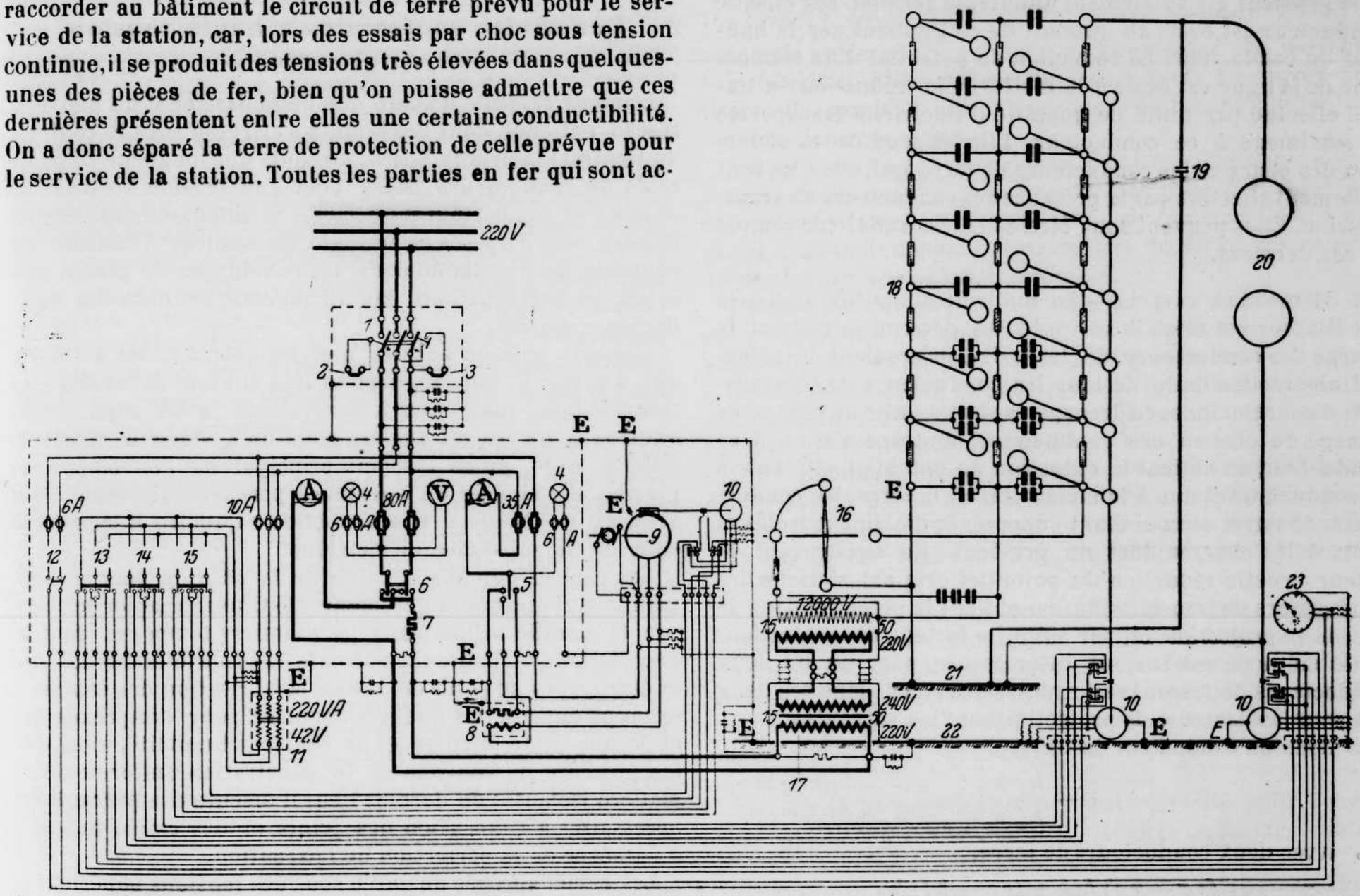


Fig. 4. — Schéma de couplage de l'installation d'essais par chocs de tension continue : 1, Interrupteur principal ; 2, Contact de porte. bouton d'alarme ; 3, Contact de lampe ; 4, Lampes de signalisation ; 5, Interrupteur de moteur ; 6, Commutateur de pôles ; 7, Résistance de limitation ; 8, Inductance de démarrage et résistance de démarrage ; 9, Moteur à collecteur de 1 ch, 220 v, 1500 t: mn ; 10, Moteur à 42 v ; 11, Transformateur, 1500 v-a, 50 p:s: 12, Eclairage de l'horloge ; 13, Eclateur de mesure ; 14, Eclateur d'amorçage : 15, Décalage du stator du moteur ; 16, Redresseur tournant ; 17, Jeu de transformateurs ; 18, Dispositif de réglage des condensateurs ; 19, Substance à essayer ; 20, Eclateur de mesure ; 21, Circuit de mise à la terre pour les essais ; 22, Circuit de mise à la terre de protection ; 23, Horloge.

veillé à ce qu'en cas de décharge sur l'appareil ou la substance essayé, il s'établisse une liaison de grande conductibilité entre les bornes des transformateurs comme entre celles des condensateurs, et les conducteurs prévus à cet effet sont également isolés du bâtiment. Les deux circuits de mise à la terre sortent du bâtiment en des points différents.

La prise de terre est constituée par un grand nombre de rubans de cuivre disposés en forme d'étoile, qu'on a enfouis et recouverts en partie de coke qu'on arrose de temps à autre. Il a été possible de cette manière d'obtenir une prise de terre d'une efficacité suffisante et d'éviter toute charge dangereuse sur les parties métalliques de l'installation. — C. A.

Revues, analyses et informations

Calcul relatif à la protection d'une ligne de transmission par conducteurs reliés à la terre (1).

1. Introduction. — Ce calcul est basé sur la supposition d'un gradient de potentiel vertical induit par un nuage chargé et produisant l'accumulation de charges sur tous les conducteurs. Quand le nuage se décharge, ce gradient s'annule brusquement. Les charges des conducteurs reliés à la terre s'écoulent rapidement et suffisamment pour que ces derniers soient amenés à un potentiel nul. Les charges des conducteurs de transmission d'énergie subsistent assez longtemps pour élever leur potentiel à une valeur telle qu'il se

(1) Herbert-Bristol Dwight. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, mai 1930, t. xlix, p. 354-357, 1500 mots, 6 figures.

produit un amorçage aux isolateurs. Le facteur de protection des conducteurs de terre est le rapport des élévations de potentiel des conducteurs isolés avec et sans protection, dans des conditions identiques. Dans l'hypothèse précédente, chaque conducteur prend une charge telle que, lorsqu'une unité de charge est transportée de l'image d'un conducteur donné à ce conducteur, le travail effectué par toutes les charges est égal au produit du gradient du potentiel par le double de la hauteur du conducteur. La tension de service étant négligée, si le gradient est subitement annulé, la tension sur chaque conducteur est égale au produit de ce gradient par la hauteur du conducteur. La réduction du potentiel d'un conducteur de la ligne est égale à la moitié de la réduction du travail effectué par unité de quantité d'électricité transportée de son image à ce conducteur. Elle dépend de la réduction des charges des conducteurs de terre qui, elles, ne sont nullement affectées par la présence des conducteurs de transmission. Elles peuvent donc être calculées sans tenir compte de ces derniers.

2. Méthode de calcul. — La méthode simplifiée indiquée par l'auteur est alors la suivante. On détermine d'abord la charge des conducteurs de terre due au gradient du potentiel, abstraction faite de tous les conducteurs de transmission d'énergie. Puis, en transportant une unité de charge de l'image de chacun des conducteurs de transmission à ce conducteur, on obtient la réduction du potentiel afférente à ce conducteur et due à la mise subite à la terre des conducteurs de terre, ceux-ci étant supposés initialement isolés et portant les charges dues au gradient. En soustrayant la valeur de cette réduction du potentiel original statique des conducteurs de transmission, on obtient le potentiel dans le cas de la protection et, par suite, le facteur de protection. Cette méthode est surtout intéressante pour un ou deux conducteurs de terre. Les formules trouvées dans ces deux cas pour les facteurs de protection sont les suivantes :

1° Avec un conducteur de terre,

$$1 - \frac{h_G}{h_A}\frac{b}{a}; \qquad (1)$$

2° Avec deux conducteurs de terre,

$$1 - \frac{(\tau e - c\alpha)\, h_{G2} + (ce - bf)\, h_{G1}}{(e^2 - \alpha f)\, h_A}; \qquad (2)$$

formules dans lesquelles : pour la formule (1)

$$a = \log_{10}\frac{GG'}{r_G}, \quad b = \log_{10}\frac{A'G}{AG};$$

h_G est la hauteur du conducteur de terre ; h_A, la hauteur du conducteur de transmission pour lequel le calcul est effectué ; r_G, le rayon du conducteur de terre ; GG', la distance du conducteur de terre à son image ; A'G, la distance du conducteur de terre à l'image du conducteur de transmission d'énergie ; AG, la distance du conducteur de transmission au conducteur de terre.

On a, d'autre part, pour la formule (2)

$$\tau = \log_{10}\frac{A'G_1}{AG_1}, \quad e = \log_{10}\frac{G'_1G_2}{G_1G_2},$$

$$c = \log_{10}\frac{A'G_2}{AG_2}, \quad f = \log_{10}\frac{G'_2G_2}{r_{G_2}},$$

$$d = \log_{10}\frac{G'_1G_1}{r_{G1}},$$

les autres lettres ayant même signification que précédemment, les indices G_1 et G_2 se rapportant aux conducteurs de terre G_1 et G_2, les lettres A, G_1, G_2, aux conducteurs de transmission et aux conducteurs de terre, les lettres A', G'_1, G'_2, aux images de ces conducteurs respectifs et les longueurs telles que AG_1, $A'G_2$, etc., étant les distances entre conducteurs ou entre conducteurs et images correspondant aux lettres.

Si $h_{G_1} = h_{G_2}$ et $r_{G_1} = r_{G_2}$, on a pour le rapport de protection dans le deuxième cas

$$1 - \frac{h_G\ (\tau + c)}{h_A\ (d + e)}. \qquad (3)$$

M. R.

Les câbles souterrains à haute tension en Angleterre (1).

L'auteur rappelle d'abord que l'établissement du nouveau réseau national, dont l'exécution s'effectue sous le contrôle du Central Electricity Board, a requis une longueur considérable de conducteurs isolés pour une tension normale de 66 000 v et comportant trois câbles monophasés qui, lors de la pose, sont disposés en triangle de manière à réduire les courants de circulation dans les enveloppes de plomb et à éviter les perturbations électromagnétiques dans les conducteurs voisins.

L'auteur indique ensuite que les câbles isolés à l'huile ont, à présent, une application très limitée en raison des complications inhérentes à ce système ; à ce sujet, il fait allusion à un brevet anglais pour un système à réservoir d'huile, avec, entre l'isolant principal et l'enveloppe de plomb, une couche de substance poreuse qui donne lieu vis-à-vis de l'huile à une attraction capillaire inférieure à celle de la substance diélectrique.

Les papiers obtenus à partir de la pâte de bois se sont maintenant presque entièrement substitués au papier de chanvre de manille utilisé dans les premiers temps, et dont le prix était élevé ; l'auteur en discute les propriétés mécaniques et électriques au point de vue de la fabrication des câbles ; il examine ensuite les qualités requises pour l'imprégnation et le moyen de purifier et de chasser l'humidité, ainsi que les procédés de contrôle de la pénétration uniforme de la matière isolante ; en dernier lieu, il discute des précautions nécessaires à l'exécution des joints et des essais destinés à s'assurer de la perfection de l'exécution.

Les essais abrégés de durée sous des tensions supérieures à la normale ne se sont pas répandus en Angleterre à cause, d'une part, de l'incertitude qui règne relativement au choix de l'exposant de la puissance à laquelle doit être élevée la valeur de la sollicitation électrostatique en raison inverse de laquelle doit varier la durée d'application, et, d'autre part, de l'impossibilité de définir exactement des variations de température, lesquelles ont une notable influence sur la rigidité diélectrique. Les essais sous tension continue s'effectuent en adoptant une valeur égale à 3 ou 3,5 fois la tension efficace de service. Relativement aux artifices utilisés pour réduire les pertes dans les enveloppes des câbles armés en intercalant des fils de fer aux matériaux non magnétiques, l'auteur estime qu'ils sont peu efficaces du fait que les pertes les plus importantes ne seraient pas dues à l'aimantation transversale, mais longitudinale.

L'auteur pense que dans la réalisation du grand réseau national destiné à interconnecter les points les plus éloignés du territoire, les câbles à 33 000 v peuvent trouver leur emploi, mais il ne croit pas nécessaire de recourir à des tensions plus élevées du fait que les échanges d'énergie ne porteront pas sur des valeurs très importantes. — L. V.

(1) T.-N. Rilli. *L'Elettrotecnica*, 5 avril 1930, t. XVII, p. 230, 500 mots. Résumé d'une communication faite à la septième Section du Congrès mondial de l'Ingénieur (Tokio, 1929).

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à Gaz.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 3 JUILLET 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929-1930 de cette société, au capital de 60 millions de francs et dont le siège social est à Montrouge (Seine), 12, place des Etats-Unis, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Bien que les conditions économiques qui ont prévalu dans le pays et à l'étranger pendant la fin de l'exercice n'aient pas été entièrement favorables, la compagnie a pu maintenir la progression de son chiffre d'affaires et, parallèlement, obtenir une augmentation de ses bénéfices, ce qui permet une élévation du dividende.

Grâce à la diversité de ses fabrications, la compagnie a pu profiter largement du mouvement de reprise qui s'est produit à la suite de la stabilisation. Toutes les branches de l'exploitation ont marqué un accroissement dans leur activité, qui s'est manifesté pour certaines d'entre elles avec une telle importance que la compagnie a dû étudier sans retard un programme d'extension de ses ateliers à Montrouge et en commencer aussitôt l'exécution.

C'est en prévision d'une telle éventualité qu'elle a acquis, précédemment, des terrains contigus à ses usines de Montrouge : une dernière opération, réalisée au début de cette année, a mis à sa disposition une nouvelle surface mitoyenne, ce qui a très heureusement complété son domaine foncier et grandement facilité la réalisation des extensions nécessaires. Avant la fin du présent exercice, la compagnie pourra occuper les nouveaux locaux industriels ainsi aménagés et dont l'utilisation est impatiemment attendue. De même s'achèvera l'extension de ses bureaux par la construction d'un bâtiment sur la place des Etats-Unis à Montrouge, perpendiculairement à l'immeuble actuel.

Les résultats de l'activité des maisons et agences à l'étranger ont été satisfaisants, malgré une concurrence de plus en plus en plus acharnée. On a pu constater l'efficacité des décisions prises pour doter ces organismes de moyens propres à faciliter leur développement dans leur rayon d'action.

A Marquise, la compagnie poursuit la modernisation de son outillage et on compte que le nouveau matériel sera mis en œuvre avant la fin de l'exercice en cours. Elle a construit de nouveaux bureaux, pour remplacer le vieil immeuble dans lequel ils étaient installés et dont l'état de vétusté ne permettait plus l'utilisation. La compagnie a, d'autre part, augmenté notablement sa production en acier, dont la qualité partout appréciée lui apporte tous les jours des commandes plus nombreuses.

A Lille, elle a modernisé ses ateliers, ce qui lui permettra de récupérer facilement en quelques années ses immobilisations, par l'économie de la main-d'œuvre de manutention résultant d'une meilleure disposition dans le travail.

A Barcelone, la progression de l'activité de la compagnie a été telle cette année qu'elle a dû augmenter ses moyens de production. Elle a pu réaliser ses projets au moyen de dispositifs spéciaux qui ont permis d'éviter d'importantes constructions nouvelles.

A Besançon, l'usine d'horlogerie, qui est une annexe des ateliers de Montrouge, doit être outillée pour alimenter les ateliers sans retard et la compagnie a dû mettre à l'étude un projet d'agrandissement qui permettra de servir ses usines de Montrouge à la cadence désirable.

L'ensemble des dépenses à engager pour l'exécution de ces programmes est assez élevé, car il s'agit d'installations prévues avec l'ampleur qu'exigent les perspectives ouvertes. L'investissement sera de l'ordre de 26 à 30 millions de francs, compte tenu des agrandissements déjà mentionnés dans les rapports de la précédente assemblée (1).

Il y a quelques mois, la compagnie a vendu dans de bonnes conditions la partie de son immeuble, boulevard de Vaugirard, donnant sur l'impasse du Maine. Par suite de cette réalisation, cet immeuble ne figure plus au bilan que pour 1 fr.

Le crédit du compte de profits et pertes s'élève à 528006 16,88 fr; il comprend : loyer des succursales et divers, 2079591,18 fr; revenus du portefeuille, participations et intérêts, 15336371,73 fr; bénéfices, 35384653,97 fr.

Au débit figurent : frais généraux, 2643912,61 fr; accidents du travail, 243398,77 fr; coupons d'obligations, 16286 95 fr.

Le compte de profits et pertes fait ressortir, pour l'exercice écoulé, un bénéfice de 48284610,50 fr contre 41303771,09 fr l'année précédente.

Ce bénéfice est réparti comme il suit : amortissement de 677 obligations 4 pour 100, 338500 fr; amortissement de 1886 obligations 6 pour 100, 943000 fr; amortissements divers (siège social et succursales), 4583455, 44 fr; dotation aux réserves générales, 5000000 fr; intérêt 5 pour 100 du capital de 60 millions de francs, 3000000 fr; intérêt 5 pour 100 de la réserve spéciale (primes d'émission), 2990000 fr; au conseil d'administration, 3142965,50 fr.

Il reste une somme de 28286689,56 fr qui jointe au reliquat de l'exercice précédent, soit 9177311,15 fr donne un total de 37464000,71 fr.

Le dividende de l'exercice est fixé à 75 fr par action O et à 15 fr par action P contre 65 fr et 13 fr l'an dernier.

Une telle attribution représente 31200000 fr qui comprend la somme de 5990 000 fr correspondant aux intérêts statutaires et un complément de 25210000 fr laissant un solde final de 12254000,71 fr à reporter à nouveau.

Un acompte de 20 fr par action O et de 4 fr par action P ayant été mis en paiement le 15 mai dernier, il reste à distribuer le solde, soit 55 fr par action O et 11 fr par action P, qui est payable le 15 novembre prochain, sous déduction des impôts de finance, contre remise du coupon n° 102 pour

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 15 mars 1930, t. XXVII, p. 430

les actions O et estampillage du coupon n°6 pour les certificats d'actions P.

BILAN AU 31 MARS 1930.

Actif.

	fr
Fonds de commerce	1 »
Boulevard de Vaugirard	1 »
Siège social et usines de Montrouge	31 583 211,44
Succursales, France et étranger	22 630 085,30
Matériel industriel	4 681 548,64
Marchandises en magasin	60 672 494,79
Caisse, effets à recevoir, banquiers	90 007 842,95
Débiteurs divers	53 091 722,50
Comptes courants des succursales de l'étranger.	38 999 812,41
Travaux et fournitures en cours	7 047 853,83
Impôts sur titres	3 882 711,90
Titres en portefeuille	37 554 542,12
Obligations à amortir	1 281 500 »
	351 433 327,88

Passif.

	fr
Capital-actions	60 000 000 »
Obligations 4 pour 100 (9 153 obligations à amortir et 10 768 obligations amorties)	9 960 500 »
Obligations 6 pour 100 (48 764 obligations à amortir et 11 236 obligations amorties)	30 000 000 »
Réserve légale	6 000 000 »
Fonds de prévoyance	12 000 000 »
Réserve spéciale (primes sur les augmentations de capital 1912, 1920, 1924 et 1925)	59 800 000 »
Réserve pour accidents du travail	4 000 000 »
Provision pour les assurances sociales	5 000 000 »
Réserves générales	26 227 282,12
Créditeurs divers	69 501 035,49
Avances sur travaux en cours	8 723 557,01
Coupons à payer et obligations à rembourser	2 759 031,61
Reliquat des bénéfices de l'exercice 1928-1929	9 177 311,15
Bénéfices de l'exercice 1929-1930	48 284 610,50
	351 433 327,88

Société de Production et de Distribution d'Energie
(PRÉCÉDEMMENT DÉNOMMÉE **Electricité de Reims**).

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 10 JUILLET 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société au capital de 10 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 96, rue de la Victoire, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Au cours de cet exercice, il a été mis en service, quatre nouveaux réseaux communaux. Le nombre des communes desservies est actuellement de 139 (1).

La vente d'énergie a marqué une progression satisfaisante.

Le conseil a pris les dispositions nécessaires pour accroître les moyens de production de l'usine génératrice.

La chaudière qui était en cours de montage a été mise en service au début de l'hiver, une nouvelle chaudière de même puissance a été commandée et doit être mise en service dans le courant du mois d'octobre.

Au cours de l'exercice la société a été amenée à construire un nouveau réfrigérant pour l'eau de condensation afin de parer aux périodes de chômage du canal.

Un feeder souterrain à 6 000 v a été installé et la mise en place d'un nouveau feeder de même puissance est prévue dans le but de faire face à l'accroissement de la clientèle.

La société a pris une participation dans la Société Lorraine-Champagne qui construit un réseau de transmission d'énergie à très haute tension dans l'est de la France.

Elle a pris également une participation dans la Société Energie électrique de la Basse-Suippe qui est concessionnaire d'une distribution d'énergie dans une région contiguë à celle qu'elle dessert.

Le crédit du compte profits et pertes se présente de la façon suivante :

Les produits bruts d'exploitation s'élèvent à 5 174 367,90 fr en augmentation de 358 361,32 fr sur l'exercice précédent.

Les revenus du portefeuille ont passé de 13 416 fr à 14 141 fr.

Le débit se répartit comme il suit : frais généraux d'administration et charges fiscales, 644 816,34 fr; provision pour impôts sur bénéfices industriels et commerciaux, 270 000 fr; intérêts et charges financières des obligations et emprunts, 687 149,19 fr.

Il est d'abord effectué les amortissements suivants : frais d'émissions d'obligations et d'augmentations de capital, 300 000 fr; primes de remboursement des obligations, 11 620 fr; compte spécial de premier établissement (intérêts temporaires aux actions), 400 000 fr; usines et concessions de Langres, 1 100 000 fr; usine, réseaux et matériel, 1 245 000 fr.

Le solde disponible s'élevant à 529 923,37 fr est réparti comme il suit : réserve légale, 26 496,17 fr; dividende de 5 pour 100, 500 000 fr; à reporter à nouveau, 3 427,20 fr.

La date de mise en paiement du dividende afférent à l'exercice 1929 est fixée au 15 juillet 1930.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Frais de constitution	1 »
Usine et secteurs électriques	19 028 627,32
Matériel d'exploitation	639 386,55
Caisses et banques	1 680 708,26
Loyers d'avance et cautionnements	48 498,60
Portefeuille-titres et participations industrielles.	1 541 370,05
Débiteurs et avances sur commandes	4 739 786,16
Impôts à recouvrer	54 600 »
Approvisionnements	2 002 759,40
Prime de remboursement des obligations, moins amortissements	577 430 »
	30 313 167,34

Passif.

	fr
Capital social	10 000 000 »
Obligations 6 pour 100, 1re série, non amorties	5 774 500 »
Obligations 6 pour 100, 2e série, non amorties	3 849 500 »
Obligations 7 pour 100 non amorties	1 968 500 »
Réserve légale	35 841,62
Amortissements antérieurs	2 835 464,62
Amortissements de l'exercice	1 245 000 »
Coupons à payer et obligations amorties à rembourser	180 741,68
Intérêts courus mais non échus sur les obligations	203 962,90
Créditeurs divers	3 689 733,15
Bénéfices de l'exercice	529 923,37
	30 313 167,34

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 15 juin 1929, t. XXV, p. 954.

Compagnie générale de Télégraphie sans Fil.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 25 JUIN 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 100 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 79, boulevard Haussmann, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Pour répondre au développement de ses affaires, la compagnie a été conduite à décider l'augmentation du capital social d'une somme de 31 250 000 fr. Par suite de cette opération, le capital a été porté le 10 septembre 1919 à 100 millions de francs.

Grâce à ce nouvel apport de capitaux, la compagnie a pu procéder à l'extension de son activité.

La collaboration qu'elle avait apportée à l'Administration française des Postes, Télégraphes et Téléphones en 1928, pour la création d'une communication par téléphonie sans fil entre la France et la République argentine a été étendue récemment à l'organisation de services analogues avec le Brésil, puis avec l'Indo-Chine. La compagnie a réalisé, au cours de l'année 1929, les accords nécessaires pour l'établissement de ces liaisons nouvelles (1).

Elle a participé à l'augmentation du capital social de sa filiale La Radiotechnique, dont l'objet principal est la fabrication et la vente des lampes et des appareils de radioélectricité destinés au public. Elle a pris également des participations nouvelles dans des entreprises ayant un objet similaire. La compagnie a procédé, d'autre part, en 1929, à la fondation de la Compagnie Radio-Cinéma, société anonyme au capital de 10 millions de francs, qui a pour objet essentiel l'industrie et le commerce du matériel de cinéma sonore et parlant.

Les progrès réalisés dans les services radiotélégraphiques transocéaniques ont été particulièrement mis en évidence, à la fin de l'année 1929, à la suite du séisme du 18 novembre qui a rompu les câbles sous-marins sur de grandes longueurs. Grâce à l'excellent fonctionnement des radiocommunications, le public ne s'est guère aperçu de cet accident qui eût, en d'autres temps, gravement affecté les relations télégraphiques entre l'Europe et l'Amérique du Nord.

Il convient de souligner également les perfectionnements que les services techniques de la compagnie ont apportés à la radiodiffusion, tant à l'émission qu'à la réception ; un nombreux public les apprécie chaque jour, et on peut assurer qu'une étape nouvelle dans la voie du progrès sera bientôt franchie, quand les appareils d'émission et de réception, actuellement en fabrication dans les ateliers des sociétés filiales de la compagnie, seront à la disposition des auditeurs.

Voici les résultats obtenus par les sociétés françaises dans lesquelles la compagnie possède des intérêts importants.

La Compagnie Radio-France, au capital de 57 millions de francs, distribue pour l'exercice 1929 un dividende de 7 pour 100, comme pour le précédent exercice.

La Compagnie Radio-Maritime, au capital de 7 millions de francs, maintient également son dividende à 25 pour 100. Cette société vient de procéder, avec un plein succès, à une augmentation de son capital qui se trouvera ainsi porté à 12 millions de francs.

La Société Radio-Orient, au capital de 7 550 000 fr, distribue un dividende de 9 pour 100 contre 8 pour 100 en 1928.

La Société française radioélectrique, au capital de 20 millions de francs, qui a clôturé son exercice, d'une durée exceptionnelle de 18 mois, le 30 juin 1929, a distribué un dividende brut de 15 fr par action de 100 fr. Au cours dudit exercice, cette société a fait apport de son département Radiola à La Radiotechnique. Cette dernière société a successivement porté son capital de 2 500 000 fr à 25 millions de francs le 14 février 1929, puis à 35 millions de francs le 29 juin 1929. Les comptes de l'exercice, d'une durée exceptionnelle de 18 mois, clos le 30 juin 1929, se sont soldés par un bénéfice net de 1 926 302,72 fr, après amortissements. Ces résultats ont permis, en outre du dividende statutaire de 6 pour 100, de répartir aux actions 1 500 000 fr à titre de dividende supplémentaire.

La Compagnie Radio-Cinéma a mis sur le marché, quelques mois après sa constitution, des appareils pour films sonores qui se sont classés immédiatement parmi les meilleurs.

Les diverses autres sociétés françaises et étrangères dans lesquelles la compagnie est intéressée ont fourni, dans l'ensemble, des résultats satisfaisants pour l'année 1929.

Le compte de profits et pertes fait ressortir un produit brut de 15 327 255,94 fr.

Les frais généraux et impôts se totalisent par 4 510 618,48 fr.

Le bénéfice net s'élève ainsi à 10 816 637,46 fr.

Ce bénéfice est réparti de la manière suivante : 5 pour 100 à la réserve légale, soit, 540 831,87 fr ; la somme nécessaire pour fournir aux actions A et B un premier dividende de 5 pour 100, soit 5 millions de francs, constitué pour partie, par prélèvement sur les primes d'émission et, pour le surplus, soit 4 088 541,67 fr, sur le bénéfice net de l'exercice.

Le surplus du bénéfice net de l'exercice représente 6 187 263,92 fr, sur lesquels la part statutaire du conseil d'administration est de 618 726,39 fr.

Il reste de la sorte un excédent de 5 568 537,53 fr formant, avec le report à nouveau de 1928, un ensemble de 8 051 445,24 fr qui est réparti à concurrence de 5 451 388,89, à raison de 75 pour 100 pour les actions, soit 4 088 541,67 fr, et de 25 pour 100 pour les parts bénéficiaires, soit 1 362 847,22 fr.

Il reste ainsi à reporter 2 600 056,35 fr.

Le dividende des 200 000 actions de la compagnie est donc fixé à 50 fr par titre.

Chaque part bénéficiaire reçoit 42,588 fr.

Ces dividendes sont payables, sous déduction des impôts, contre la remise du coupon n° 17 pour les actions B au porteur et les parts au porteur, et sur la présentation des certificats pour les actions A, ainsi que pour les actions B nominatives et les parts nominatives, à partir du 1er juillet 1930.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Immeuble du siège social	5 115 592,95
Mobilier	1 »
Brevets	1 »
Installations en exploitation	10 369 142,40
Dépôts et cautionnements	183 832 »
Entreprises en cours	7 623 951,13
Portefeuille	79 209 306,43
Caisse et banques	6 015 001,35
Débiteurs divers	51 182 353,16
	159 699 181,42

Passif.

	fr
Capital social	100 000 000 »
Réserve légale	3 203 839,11
Réserve et fonds de prévoyance	17 493 481,55
Amortissements et provisions	10 576 410,51
Créditeurs divers	15 125 905,08
Report de l'exercice précédent	2 482 907,71
Bénéfice net de l'exercice	10 816 637,46
	159 699 181,42

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 23 novembre 1929, t. XXVI, p. 855.

Est-Lumière
(Compagnie d'Electricité de l'Est parisien)

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 27 JUIN 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 67 500 000 fr et dont le siège social est à Paris, 94, rue Saint-Lazare, nous extrayons les renseignements qui suivent :

La reprise dans le développement des ventes d'énergie, qui avait caractérisé l'exercice précédent, s'est maintenue, particulièrement pendant les trois premiers trimestres de l'année 1929, de telle sorte que, par rapport à 1928, le nombre de kilowatts-heures vendus est en augmentation de 14,5 pour 100.

Les recettes d'exploitation se sont accrues dans la même proportion.

Comme les années précédentes, le réseau a été alimenté uniquement par l'Union d'Electricité dont la fourniture a donné entière satisfaction.

Le compte de profits et pertes fait apparaître un produit brut de 30 659 940,43 fr soit une augmentation de 4 018 061,24 fr sur celui de l'année précédente (1).

Ces résultats sont dus au développement continu des fournitures d'énergie dans les diverses applications de l'électricité.

Le nombre total des abonnés, dont 95 pour 100 sont des abonnés d'éclairage, dépasse actuellement 194 000, en augmentation de 13 500 sur celui de l'année dernière, compte non tenu des abonnés de la commune de Montreuil dont la compagnie assure l'alimentation.

La puissance totale des installations reliées à son réseau est de 121 300 kw, dont un tiers pour l'éclairage, en augmentation de 6 800 kw sur celle de l'exercice précédent.

En dehors de l'extension normale des réseaux nécessitée par le développement de la clientèle, la compagnie a poursuivi pendant cet exercice les travaux entrepris depuis quelques années pour accroître le nombre et la puissance de ses postes de transformation et pour renforcer certaines lignes à basse tension, devenues insuffisantes.

Ces travaux ne peuvent s'effectuer que lentement, de manière à ne porter aucun trouble dans l'exploitation et dans les services des abonnés.

La longueur totale des canalisations, tant souterraines qu'aériennes, a été ainsi augmentée de plus de 33 km et le nombre des postes de transformation porté à 997.

La compagnie a également développé d'une façon particulièrement sensible, l'électrification de l'éclairage des principales voies publiques sur les territoires des communes qu'elle dessert.

Le total des comptes canalisations primaires et réseaux et branchements est en augmentation de 12 821 314,05 fr représentant le montant des travaux exécutés pendant l'exercice, tant pour assurer le développement normal du réseau que pour réaliser la mise en service des 13 500 abonnés reliés pendant l'exercice.

Le montant des titres en portefeuille est passé de 20 558 247,50 fr à 27 632 397,50 fr en augmentation de 7 074 150 fr provenant de l'accroissement des participations.

Rappelons que le portefeuille de la compagnie comprend essentiellement des actions de l'Union d'Electricité, de la Société d'Electricité du Nord-Est parisien, de l'Ouest-Lumière, du Nord-Lumière et de l'Union financière pour l'Industrie électrique.

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 24 août 1929, t. XXVI, p 301.

Les produits industriels et divers se sont élevés à 36 556 971,61 fr sur lesquels il y a lieu de prélever : charges financières, 68 531,18 fr ; fonds de renouvellement, 5 000 000 fr ; obligations amorties pendant l'exercice, 828 500 fr.

Le produit brut de l'exercice, qui ressort du compte de profits et pertes, s'élève à 30 659 940,43 fr.

Il en est déduit, tout d'abord, pour porter au fonds d'amortissement des immobilisations, 5 942 573,50 fr.

Le solde disponible du compte de profits et pertes s'élève donc à 24 717 366,93 fr.

On en déduit pour compléter la réserve légale au dixième du capital, 1 218 898,28 fr.

Il reste une somme de 23 498 468,65 fr dont il y a lieu de déduire pour distribuer un intérêt de 5 pour 100 à la totalité des actions sur le montant des sommes dont elles sont libérées, soit 2 625 000 fr.

Après avoir affecté à la réserve spéciale une somme de 8 500 000 fr il reste 12 373 468,65 fr sur lesquels 10 pour 100 reviennent au conseil; soit 1 237 346,86 fr.

Après avoir ajouté les profits et pertes reportés, soit 3 867 283,66 fr on a un solde disponible de 15 003 405,45 fr.

Sur ce solde, il est réparti à toutes les actions un dividende de 15 fr, soit au total 10 125 000 fr.

Après cette répartition, il reste une somme de 4 878 405,45 fr qui est reportée à nouveau.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Frais de constitution, de premier établissement et d'augmentation de capital	1 »
Terrains et immeubles	5 013 275,72
Compteurs et colonnes montantes	9 929 974,03
Mobilier et outillage	1 »
Canalisations primaires	51 693 998,73
Réseaux et branchements	55 122 098,28
Compte spécial de premier établissement (articles 22, 23 et 27 du cahier des charges)	9 534 870,44
Approvisionnements	5 700 784,95
Cautionnements	85 037,80
Créance sur les communes	1 795 864,48
Caisse et banques	10 514 644,23
Débiteurs divers	1 186 569,81
Abonnés	15 896 074,28
Titres en portefeuille	27 632 397,50
Actionnaires	15 000 000 »
Primes de remboursement	45 660 »
Impôts de finance à recouvrer	3 480 221,21
	212 631 473,46

Passif.

	fr
Capital	67 500 000 »
Réserve légale	5 531 101,72
Réserve spéciale	5 000 000 »
Solde du compte ancien d'amortissement	48 000 000 »
Montant des obligations amorties dans l'exercice et participations diverses	3 409 359,64
Amortissement suivant convention du 2 août 1926	886 638,67
Fonds de renouvellement du matériel	7 107 103,24
Provision (compte spécial de premier établissement)	9 534 870,44
Obligations 5 pour 100 non amorties	2 283 000 »
Dépôt de garantie des abonnés	5 871 315,50
Créditeurs divers	21 449 398,34
Coupons échus et obligations à rembourser	1 531 461,82
Solde profits et pertes au 31 décembre 1928	3 867 283,66
Produit brut de l'exercice	30 659 940,43
	212 631 473,46

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 18. — 1er NOVEMBRE 1930.

Chronique. — Société hydrotechnique de France, p. 673. — Pour l'unification du langage technique : Transmission d'énergie ou transport d'énergie? p. 673.

Congrès international du Génie rural (Liége 1930), p. 675.

Section scientifique et technique. — Un nouveau phénomène d'optique : l'effet Raman, par A. BOUTARIC, p. 683. — Revues, analyses et informations : Recherches sur les propriétés diélectriques des gaz ionisés et la décharge en haute fréquence, p. 686; Quelques recherches sur la vitesse du son aux fréquences ultrasonores, obtenues au moyen d'oscillateurs en quartz, p. 689; Le mouvement d'ions positifs lents dans les gaz, p. 690; L'effet Thomson dans les cristaux de zinc, p. 691; L'effet Barkhausen. Détermination de la grandeur moyenne des discontinuités d'aimantation, p. 692; Les propriétés photoélectriques et thermoioniques des filaments de verre recouverts de platine, p. 692.

Section industrielle. — Réseaux maillés souterrains à basse tension sans protection spéciale contre les surintensités de courant, par A. SEGALL, p. 693. — Les accumulateurs électriques d'après les brevets récents (*suite*), par L. JUMAU, p. 696. — Revues, analyses et informations : Orgue électrique, p. 710.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Compagnie Radio-France, p. 711; Nord-Lumière (Le Triphasé), p. 712.

Société hydrotechnique de France. — Nous attirons l'attention de nos lecteurs sur les mémoires publiés dans le fascicule n° 43 des « Comptes rendus des Travaux de la Société hydrotechnique de France » annexé au présent numéro.

Sous le titre de « Note sur la répartition des vitesses dans un canal à profil complexe », M. V.-M. Hégly rend compte des résultats d'expériences exécutées au Laboratoire du Saulcy à Metz, après avoir précisé les conditions dans lesquelles ont été effectuées ces expériences; l'appareil employé pour la mesure des vitesses a été un tube Pitot, en attendant que le manomètre différentiel mis à la disposition du laboratoire précité par le Conservatoire national des Arts et Métiers puisse être utilisé pour ce genre de mesures. Les expériences qui font l'objet de ce mémoire, au nombre de quinze, sont groupées en trois catégories : huit d'entre elles ont été faites sur un canal avec parois en terre graveleuse, trois, sur un canal à parois argileuses et quatre, sur un canal à parois rugueuses, le fond et un des talus ayant été recouverts de gros galets de Moselle. Les résultats sont enregistrés sous forme de courbes reproduites sur deux planches hors texte et dans des tableaux.

Dans une « Note sur la difficulté présentée par les mesures au moulinet », MM. A. Foch et Jean Laurent signalent les irrégularités qui se présentent dans les courbes d'étalonnage des moulinets hydrométriques et dont ils analysent les causes pour conclure à la nécessité d'utiliser des « moulinets effilés, de maître-couple aussi réduit que possible ».

M. Aimé Coutagne commente les résultats d'une « Enquête sur les débits de crue » entreprise en 1929 auprès d'un très grand nombre de sociétés. Les réponses sont enregistrées en annexe de la note de M. Coutagne; il y a vingt-cinq réponses relatives aux régions des Alpes et du Jura; quatorze réponses relatives au Massif central et quatre réponses qui intéressent la région des Pyrénées.

A propos de deux ouvrages récents, l'un de M. Jean Lugeon, intitulé « Précipitations atmosphériques, écoulement et hydroélectricité » et l'autre de M. R. de Rham « Le climat des Alpes méridionales », M. Coutagne traite du « Contrôle hydrologique d'un bassin »; la première partie de ce mémoire constitue une analyse des deux ouvrages précités, tandis que dans la deuxième partie, l'auteur expose son point de vue sur la nécessité du contrôle hydrologique des bassins donnant, pour terminer, des directives sur la façon dont doit être traité un problème hydrologique.

Pour l'unification du langage technique : Transmission d'énergie ou transport d'énergie? — C'est la première de ces locutions que nous employons dans cette revue pour désigner l'opération consistant à amener en un lieu B pour y être utilisée l'énergie produite en un autre lieu A ou pour désigner l'ensemble des appareils servant à cette opération. Par contre, le ministre des Travaux publics dans ses décrets de concession emploie l'expression « transport d'énergie ».

Il serait évidemment désirable de n'avoir qu'une

seule expression pour exprimer la même idée. Mais laquelle choisir?

La question s'est posée à l'une des séances que tint récemment à Stockholm le Sous-Comité du Vocabulaire de la Commission électrotechnique internationale. Aussi nous paraît-il utile d'indiquer les raisons qui nous ont fait adopter l'expression « transmission d'énergie ».

1. Tout d'abord le mot « transmission » peut revendiquer l'avantage d'avoir été le premier employé dans le sens que nous lui donnons.

Si, en effet, on feuillette les numéros des premières années de « La Lumière électrique », on constate que de 1879 à 1883 c'est le mot transmission qui est presque exclusivement employé. Aussi dans la table récapitulative des matières des dix premiers volumes publiée au début de 1884, trouve-t-on la rubrique « Transmission de la force », mais non celle « Transport de la force ». Ce n'est guère qu'en 1885, au moment où les remarquables expériences de Marcel Deprez retenaient l'attention des électriciens que l'on vit apparaître l'expression « transport de force » dans la littérature électrotechnique. La raison de l'emploi de cette nouvelle expression nous a été donnée une dizaine d'années plus tard par un des pionniers de l'électricité dont le nom est resté attaché à un type particulier de dynamo multipolaire, M. E. Desroziers. « Jusqu'alors, nous disait-il, la transmission du mouvement d'un endroit à un autre n'était réalisée que par des moyens mécaniques dont l'ensemble constituait ce qu'on appelle une « transmission de force ». Il était nécessaire que les électriciens emploient une expression différente pour désigner la transmission du mouvement à distance par l'intermédiaire de l'électricité; l'expression « transport de force » fut choisie dans ce but. »

2. On pourrait nous objecter que l'on disait « transmission de force » et non « transmission d'énergie ». Mais il ne faut pas oublier qu'en 1885 le mot « force » n'avait pas de signification précise. Non seulement il désignait ce que nous appelons encore aujourd'hui « force », mais il était très souvent employé comme abréviation de « force motrice » ou encore comme synonyme de « puissance » : on écrivait, en effet, couramment « une machine à vapeur de la force de 50 chevaux ». D'ailleurs, l'expression « transmission d'énergie » remplaça peu à peu celles de « transmission de force » et de « transport de force » et dans le « Dictionnaire d'Electricité » de Julien Lefèvre, docteur ès sciences, professeur à l'Ecole des Sciences de Nantes, édité en 1895 par la librairie J.-B. Baillière et fils, tout ce qui concerne la transmission du mouvement est rassemblé sous la rubrique « Transmission électrique de l'énergie » (p. 901 à 913), tandis qu'à la rubrique « Transport électrique de la force » se trouvent seulement ces quelques mots « Voyez Transmission électrique de l'énergie ». Par conséquent, dès 1895, c'est l'expression « transmission de l'énergie » qui prévalait dans la littérature électrotechnique. A peu près seul le Ministère des Travaux publics continua à se servir de l'expression « transport de force », qu'il abandonna beaucoup plus tard (vers 1903, croyons-nous) pour celle de « transport d'énergie ».

3. Cherchons maintenant les définitions que donnent les dictionnaires français des substantifs « transmission » et « transport », ainsi que des verbes dont ils dérivent.

Dans le dictionnaire de Littré, nous lisons :

Transmettre. — Faire passer. Faire passer ce qu'on possède en la possession d'un autre. Faire parvenir comme par une transmission.

Transmission. — Propriété d'un corps qui laisse passer la lumière ou la chaleur. En mécanique, transmission de mouvement, communication de mouvement d'un corps à un autre.

Transport. — Action par laquelle on transporte quelque chose ou quelqu'un d'un lieu à un autre.

Transporter. — Porter d'un lieu à un autre.

Porter. — Soutenir comme on soutient une charge, un faix.

De l'ensemble des exemples donnés dans le dictionnaire de Littré et dans les divers autres que nous avons consultés, il résulte très nettement que le mot « transport » est employé toutes les fois qu'il s'agit du déplacement d'un objet *matériel*, tandis que c'est « transmission » que l'on emploie quand il s'agit de choses *immatéri lles*. Ainsi on dit : transport de charbon, de marchandises, de voyageurs, etc., tandis que l'on doit dire : transmission des pouvoirs, des idées, des messages, des signaux, etc. Dans le cas de la chaleur, on dit aussi « transport de chaleur », mais l'emploi de cette expression concurremment avec celle de « transmission de chaleur » apporte précisément une preuve de la distinction que fait la langue française entre « transmission » et « transport » : on dit, en effet, « transmission » quand il s'agit de la propagation par émission ou par conductibilité; on réserve l'expression « transport de chaleur » au cas où il y a *convection*, c'est-à-dire au cas où la chaleur passe d'un corps A à un corps B par l'intermédiaire de molécules *matérielles* qui prennent de la chaleur à A et la *portent* sur B.

4. On peut encore revendiquer en faveur de l'emploi du mot « transmission » deux autres avantages, secondaires il est vrai.

En premier lieu, « transmission » a la même terminaison que plusieurs autres mots que l'on rencontre souvent dans son voisinage immédiat : production, génération, transformation, utilisation de l'énergie.

En second lieu, le mot anglais qui le traduit est « transmission ». Il ne pourra donc y avoir d'erreur dans la traduction en français d'un texte anglais, ce qui n'est pas sans intérêt, étant donné qu'il semble bien que soit prochain le jour où dans les réunions internationales les propositions et les rapports seront imprimés, présentés et discutés en langue anglaise seulement.

5. En résumé, il résulte de ce qui précède que, outre certains autres avantages, l'expression « transmission d'énergie » possède celui de répondre beaucoup mieux que « transmission d'énergie » aux exigences de la langue française. Cette raison nous paraît suffisante pour que le choix se porte sur elle.

Il semble d'ailleurs que l'unification ne tardera pas à se faire d'elle-même en sa faveur. Le ministre des Travaux publics a, en effet, déposé sur le bureau du Sénat, à la séance de l'après-midi du 11 avril 1930, un projet de loi dans le titre duquel se trouve cette expression. Ce titre est, en effet, *Projet de loi sur les transmissions d'énergie électrique*, présenté par M. André Tardieu, président du Conseil, ministre de l'Intérieur et par M. Georges Pernot, ministre des Travaux publics. De plus, l'article premier de ce projet stipule : « La présente loi est applicable à toutes les installations servant à la *transmission de l'énergie électrique* dans un but autre que la transmission des signaux ou de la parole... » Or c'est bien dans le même sens que nous employons dans cette revue l'expression de « transmission d'énergie ». — J. B.

Congrès international du Génie rural (Liége 1930)

Au Congrès international du Génie rural qui se tint à Liége, du 3 au 5 août 1930, à l'occasion des expositions internationales du centenaire du royaume de Belgique, furent présentés un certain nombre de rapports relatifs à l'électrification rurale, dont nous publions le compte rendu dans les lignes qui suivent. De ces rapports ressortent les efforts accomplis dans la plupart des pays en faveur du développement des applications de l'électricité à la ferme et aux champs ; comme on le sait, l'électrification rurale ne peut être considérée, sauf de rares exceptions, comme une source de revenus importants, d'où les difficultés rencontrées dans la réalisation de projets dont on ne peut espérer tirer qu'un faible bénéfice. Toute la question de son développement est donc liée à une augmentation de la consommation d'énergie, dépendant elle-même d'une réduction du prix de l'énergie. Les efforts de ceux qui collaborent à ce développement portent essentiellement, comme le montrent les rapports analysés ici, sur les applications qui peuvent être faites de l'électricité, tant dans les travaux des champs que dans la ferme elle-même ; il importe de faire ressortir aux intéressés les avantages d'ordre pratique d'abord et surtout d'ordre économique qu'ils peuvent trouver en recourant à l'énergie électrique que les sociétés de distribution sont toutes disposées à leur fournir.

I. **Introduction**. — Nous avons annoncé (1) en temps voulu, que le Congrès international du Génie rural devait avoir lieu à Liége du 3 au 5 août 1930. A ce Congrès étaient représentés les diverses provinces de la Belgique, l'Espagne, la Finlande, la France, par M. Porchet, ingénieur en chef du Génie rural, l'Italie, dont la délégation était formée de six membres, le Japon, la Lettonie, le Luxembourg, les Pays-Bas, le Pérou, la Pologne, la Rhodésie du Sud, la Roumanie, les Straits Settlements et Etats fédérés malais, la Suisse, la Tchécoslovaquie, l'Union sud-africaine, le Venezuela et diverses associations internationales telles que l'Institut international de l'Agriculture de Rome et la Commission agricole de la Conférence parlementaire du Commerce.

Ce Congrès comprenait quatre sections, de Mécanique agricole, d'Organisation scientifique du Travail en Agriculture, de Motoculture et d'Electricité. Les rapports présentés ont été réunis dans un volume sous le titre « Congrès international du Génie rural » (2), duquel sont extraits les comptes rendus des rapports de la section d'Electricité. Cette section était placée sous la présidence de M. Em. Uytborck, directeur général de l'Union des Exploitations électriques en Belgique, et nous saisissons cette occasion pour le remercier d'avoir bien voulu nous tenir au courant des travaux effectués sous sa présidence.

II. **Extension des réseaux ruraux d'électricité aux hameaux et fermes isolés**. Rapport de Em. Uytborck, directeur général de l'Union des Exploitations électriques en Belgique. — 1. Développement de l'électrification en Belgique en général. — Dans ce rapport de six pages, sont exposés la marche suivie dans l'extension des réseaux en général, et notamment en Belgique, et les résultats obtenus aujourd'hui. Considérant la Belgique, l'auteur relève le fait qu'à la fin du siècle dernier, les petites usines génératrices existaient en nombre très considérable ; « l'essor de l'industrie de la production de l'électricité, ajoute-t-il, allait être compromis par une trop grande dissémination des efforts ». Grâce aux progrès réalisés alors dans la technique des tensions élevées, les réseaux de distribution purent se développer ; la première usine génératrice à haute tension en Belgique, celle d'Oisquercy, date de 1899. Depuis lors et surtout depuis la guerre, les réseaux de distribution s'étendirent rapidement et cette extension permit de réduire le nombre des usines génératrices et d'en augmenter l'importance ; la puissance moyenne des quelque quarante usines génératrices de distribution s'élève à 40 000 ch.

Sur les 2 677 communes de la Belgique, il en est 1 850 dans lesquelles la distribution de l'énergie est assurée par l'industrie privée et 615 où les pouvoirs publics interviennent pour cette distribution soit totalement, soit partiellement. Il y a donc 2 465 communes électrifiées ; l'augmentation du nombre de communes électrifiées durant ces dix dernières années est en moyenne de 150 par an, ce qui permet d'espérer que peu d'années seront encore nécessaires pour l'électrification des 200 communes non encore desservies par un réseau.

Mais l'auteur fait remarquer que cette extension des réseaux s'est toujours faite au profit des centres à population dense ; de même que les villes ont, au début, bénéficié de l'électrification avant les localités moins importantes, de même encore, le réseau initial ne s'étend que dans la partie agglomérée de ces localités et laisse de côté les hameaux et les fermes isolés.

2. Electrification rurale en Belgique. — Ce sont donc ces écarts qu'il importe d'atteindre ; sur les 1 600 000 maisons existant en Belgique on estime que 150 000 maisons, approximativement, ne peuvent être raccordées actuellement parce qu'elles sont soit dans des communes non électrifiées soit trop éloignées des réseaux

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 26 juillet 1930, t. XXVIII, p. 26 B.

(2) Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 500 pages, édité par l'imprimerie J. Duculot, à Gembloux (Belgique).

existant dans les communes électrifiées. La question de cette électrification est essentiellement d'ordre économique. A ce propos, M. Uytborck établit une comparaison des prix de vente de l'énergie en Belgique et dans les autres pays ; voici les nombres qu'il donne pour le prix du kilowatt-heure en francs belges, destiné à l'éclairage dans le cas de distributions régionales ou agricoles :

Angleterre	4,20 à 4,75
Allemagne	3,00 à 4,70
Belgique	2,30 à 4,30
Danemark	3,16 à 5,28
Espagne	2,90 à 10
France	3,35 à 4,34
Hollande	2,90 à 6,50
Etat de New-York	3,50 à 4,70
Pologne	3,94 à 5,25
Suisse	3,00 à 3,50
Tchécoslovaquie	3,94 à 4,30
Turquie	5,30 à 5,80

De ces résultats, l'auteur conclut que les prix en vigueur en Belgique, qui sont parmi les plus bas, permettent d'espérer l'extension de l'électrification rurale dans ce pays.

Une autre remarque concernant également la tarification de l'énergie, que formule M. Uytborck, est relative à l'obligation dans laquelle se trouvent les distributeurs de renoncer à leur tendance d'uniformiser le prix de vente ; on ne peut plus admettre que les abonnés se trouvant dans les agglomérations participent aux dépenses de la transmission de l'énergie en des points éloignés de l'usine génératrice, d'où la nécessité d'augmenter le prix pour ces derniers. Or, dans la loi de 1925, qui, pour la première fois en Belgique, a établi le statut de la production et de la distribution de l'énergie électrique, il est stipulé que le concessionnaire est tenu de construire les lignes pour lesquelles il lui est garanti une consommation minimum d'énergie ; mais dans les écarts, ce minimum n'est généralement pas atteint. « Où trouver l'argent, dit alors M. Uytborck, pour construire un réseau qui ne « rendra » pas pendant un certain nombre d'années ?»

3. Conclusion. — Pour répondre à cette question, le rapporteur fait remarquer que depuis la loi du 28 juillet 1920 qui permettait d'adapter les contrats de concession aux nécessités locales, on a vu une extension rapide des réseaux et ceci sans le secours pécuniaire de l'Etat. Malheureusement cette loi est venue à échéance le 31 décembre 1929 ; M. Uytborck en demande la prorogation. Et dans des cas exceptionnels pour lesquels ni le concessionnaire, ni les autorités locales ne seraient parvenus à trouver un terrain d'entente, l'appui financier sous forme de prêts de l'Etat pourrait être envisagé ; un projet de loi se trouve d'ailleurs actuellement préparé et s'inspire assez directement des dispositions adoptées en France pour l'électrification des écarts. — A. C.

III. **Commentaires sur les statistiques de consommation d'énergie dans les régions rurales.** Rapport de P. Sohie, ingénieur à l'Union des Exploitations électriques en Belgique. — 1. Données relatives a la consommation d'énergie électrique dans les réseaux ruraux en Belgique. — Sur 2677 communes belges, 200 seulement ne sont encore reliées à aucun réseau de distribution d'énergie ; à ce propos, le rapport souligne la rapidité de l'électrification en faisant remarquer qu'en 1912 il y avait 2350 communes à électrifier et qu'en 1923, ce nombre était ramené à celui de 725. Mais si la presque totalité des communes belges possèdent un réseau de distribution, il y a dans un très grand nombre de ces communes des habitations qui ne peuvent s'y raccorder sans frais importants ; c'est précisément le raccordement de ces maisons qui constitue le problème de l'alimentation des écarts : la difficulté de le résoudre réside dans le fait que cette alimentation entraîne à des frais d'établissement élevés, résultant de la nécessité d'étendre le réseau et, d'autre part, que la consommation d'énergie de cette catégorie d'installations rurales est relativement faible et ne suffit pas à justifier les dépenses auxquelles entraîne l'extension du réseau.

En effet, la consommation annuelle d'énergie par habitant des régions rurales est actuellement de 8 à 15 kw-h pour l'éclairage et de 3 à 6 kw-h pour la force motrice ; or, en 1929, la valeur moyenne de l'énergie fournie par les sociétés privées de distribution publique pour l'éclairage et la force motrice s'élève à 256 kw-h par habitant des communes desservies, résultat qui met en évidence la faible consommation d'énergie des installations rurales rapportée à celle des installations urbaines et industrielles.

Voici les chiffres que donne le rapporteur pour ce qui concerne la Belgique : Par mètre courant de canalisation à basse tension, l'énergie fournie annuellement est en moyenne de 13 kw-h, tandis qu'elle n'atteint que 3 kw-h dans le cas des réseaux ruraux seuls.

Si l'on rapporte la consommation d'énergie annuelle à l'unité de surface, soit à 1 hectare, on peut admettre qu'elle est de 20 kw-h en Belgique, tandis que l'on montre par une estimation théorique qu'elle pourrait être de 40 kw-h par hectare et par an. Le rapporteur ne croit d'ailleurs pas que ce dernier chiffre constitue une limite inaccessible ; se référant au rapport de M. Borlase Matthews, présenté, en 1925, à la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à très haute Tension (1), il fait remarquer que ce dernier auteur indiquait comme valeur moyenne de l'énergie consommée dans trente-quatre districts ruraux européens le nombre de 125 kw-h par hectare et par an, valeur très élevée qui s'explique par le fait que dans les applications de l'électricité sont compris le labourage et le battage et,

(1) Borlase Mathews. *Compte rendu des Travaux de la troisième Session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension*, t. II, p. 911-930 analysé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 5 septembre 1925, t. XVIII, p. 386-389.

peut-être même, le chauffage des serres et des couches. Ces applications, notamment les deux premières, présentent néanmoins un inconvénient résultant de l'emploi de moteurs de puissance relativement élevée, de l'ordre de 10 kw et même plus, qui ne fonctionnent que quelques heures par an. Cette remarque conduit le rapporteur à examiner la question de la tarification.

2. Tarification de l'énergie. — L'augmentation des frais d'amortissement des installations qui est due à celle de la puissance installée chez l'abonné, et que le distributeur doit donc pouvoir fournir, doit intervenir dans le mode de la tarification. C'est pourquoi le rapporteur préconise, au moins au point de vue de la logique, l'adoption, dans le cas de la basse tension, de la même formule de tarification que celle en vigueur pour la haute tension, à savoir une formule binaire comportant un terme fixe, qui dépend de la valeur des immobilisations nécessaires pour que la puissance souscrite par l'abonné puisse lui être fournie, et un terme proportionnel à l'énergie consommée, qui tient compte des frais d'exploitation nécessités par la production et la transmission de l'énergie demandée par l'abonné. Cette formule adoptée, nous l'avons dit, pour la haute tension est conforme à l'arrêté royal du 11 février 1927 ; mais, pour la basse tension, ce même arrêté fixe les prix maxima de vente de l'énergie et cette disposition, ainsi que le fait remarquer le rapporteur, répond bien à des considérations d'ordre psychologique ; la formule de tarification binaire « quoique rationnelle apparaîtrait fort compliquée à l'abonné ordinaire qui n'y comprendrait que fort peu de chose ». Si les prix établis pour la vente de l'énergie aux abonnés ruraux tiennent compte de l'ensemble des conditions défavorables qui caractérisent ces distributions, un très grand nombre de sociétés sont prêtes à faire des tarifs spéciaux pour les abonnés qui assurent une bonne utilisation de la puissance raccordée, c'est-à-dire dont la consommation d'énergie se répartit à peu près également sur un aussi grand nombre d'heures que possible dans l'année.

3. Répartition uniforme dans le temps de l'énergie consommée. — Un exemple que traite le rapporteur montre qu'il est possible, par une organisation rationnelle du travail à la ferme et dans les champs et par des combinaisons judicieuses des circuits de l'installation, d'obtenir des résultats satisfaisants au point de vue de cette répartition. C'est ainsi que l'on prendra d'abord des dispositions pour qu'aucun appareil ne fonctionne lorsque la batteuse, supposée mue électriquement, est en service ; quant aux autres moteurs, pour des appareils de laiterie, pour des meules, scies, etc., on veillera à ce qu'ils ne soient pas tous en circuit simultanément, ce qui est une question d'organisation du travail. Enfin, pour l'utilisation de l'énergie pendant la nuit, le rapporteur préconise l'emploi d'un chauffe-eau électrique à accumulation de chaleur et d'une étuveuse électrique et il conclut ainsi : « L'étude par les milieux agricoles de l'emploi généralisé de l'électricité dans toutes ses applications permettra, moyennant quelques précautions, de ranger les exploitations agricoles parmi les usagers auxquels les distributeurs peuvent consentir des tarifs de faveur. » — A. C.

IV. **L'électricité à la ferme**. Rapport de R.-H. Drilhon, expert agronome électricien, chef du Service d'Electrification rurale des Agriculteurs de France. — Dans ce rapport sont examinés quelques points particuliers à l'électrification agricole.

1. Alimentation des fermes en énergie électrique. — Cette alimentation, aisée dans le cas des réseaux ruraux (cas des fermes à proximité d'un village desservi par un transformateur ou d'un réseau à haute tension), l'est moins pour les fermes isolées ou « écarts », du moins au point de vue financier. Aussi, en France une loi récente accorde-t-elle des subventions allant jusqu'à 50 pour 100 du montant des dépenses ; toutefois, il convient d'ajouter que les conditions prévues la rendent le plus souvent inapplicable. C'est pourquoi il est nécessaire d'entreprendre une propagande ayant pour but de favoriser le développement des applications de l'électricité, assurer un fonctionnement impeccable des réseaux et trouver un mode de tarification favorable à tous les intéressés dont, d'ailleurs, les intérêts sont étroitement liés. Il conviendrait également de créer des centres d'études qui feraient connaître aux agriculteurs les applications agricoles de l'électricité.

Dans le cas où l'énergie électrique doit être produite à la ferme par l'emploi d'un moteur à huile lourde, trois solutions sont possibles au point de vue de la génération du courant : a, emploi d'un alternateur triphasé, solution à rejeter à cause de l'impossibilité d'éclairer la ferme à l'arrêt du moteur ; b, emploi d'une génératrice à courant continu et d'une batterie d'accumulateurs ; cette solution est acceptable, mais l'entretien d'une génératrice à courant continu est délicat et le raccordement futur de l'installation à un réseau est impossible ; c, emploi d'un système appelé triphasé-continu que propose l'auteur.

Ce système comporte :

1° Un réseau d'éclairage à 4 fils, pouvant être alimenté, soit en courant continu, soit en courant triphasé ;

2° Un réseau de force motrice à 3 fils alimenté en courant triphasé ;

3° Suivant les nécessités, des lignes spéciales à 2 fils alimentées en courant continu.

L'usine génératrice comprend : un moteur à huile lourde, un alternateur triphasé, une génératrice à courant continu et une batterie d'accumulateurs.

Le réseau d'éclairage est toujours sous tension, car il peut être alimenté par la batterie seule, la génératrice seule, ou par celle-ci avec la batterie en tampon, ou enfin par l'alternateur. On peut lui raccorder les petits moteurs universels ou à courant continu, et ceux dont le fonctionnement est intermittent (moteurs de pompes

démarrant par contact à flotteur, par exemple), pour lesquels la mise en route de l'alternateur est injustifiée L'horaire de fonctionnement des moteurs et de la charge des accumulateurs est à étudier pour permettre une marche à pleine charge, donc à meilleures conditions économiques. Ce système présente, avec les avantages précités, la facilité d'emploi de moteurs triphasés, qui sont, comme on sait, robustes et d'entretien facile.

2. Installation intérieure des locaux agricoles. — La sécurité du personnel, des locaux et du matériel exige une installation bien exécutée au triple point de vue de l'isolement électrique, de la protection mécanique et l'impossibilité de « bricolage ». Aussi l'auteur, après avoir rejeté l'installation sur isolateurs qui ne répond qu'à la première condition, propose-t-il l'adoption des principes suivants :

1° Les canalisations principales seront placées à l'extérieur des bâtiments; elles seront en câbles isolés et placés hors de portée des ouvriers, même munis d'un instrument tel que fourche, etc;

2° Les dérivations seront protégées par un interrupteur et un coupe-circuit sous coffret fonte;

3° Les canalisations intérieures seront en fil ayant un isolement de 1 200 mégohms sous tube d'acier, isolé ou non. Les raccords entre tubes se feront par manchons filetés, coudes ou tés avec couvercles à vis, de façon à pouvoir accéder aux fils; ces tubes seront posés sur des colliers à vis scellés dans le mur;

4° Tout l'appareillage sera du type blindé.

3. Applications agricoles de l'électricité. — L'auteur recommande le moteur triphasé avec démarreur automatique individuel pour chaque machine à entraîner, proscrivant ainsi les moteurs mobiles sur brouettes ou autrement et expose les différentes réalisations possibles. C'est ainsi qu'il décrit l'installation d'un chantier de battage avec le système triphasé-continu. Celle-ci comprenait : 1° une batteuse débitant dix quintaux de grains à l'heure avec engreneur automatique et un souffleur de balles permettant d'envoyer les balles à 75 m; 2° une presse à paille en long; 3° un élévateur de paille. Le groupe électrogène est formé d'un moteur à huile lourde, genre Diesel, à démarrage à froid, de 15 à 17 ch, et d'un alternateur fournissant 10 kv-a environ. Un moteur de 13 ch, à démarrage automatique, entraîne la batteuse, alors que la presse à paille et l'élévateur sont équipés chacun avec un moteur à courant continu de 2,5 ch alimenté par la batterie d'accumulateurs. Le seul moteur à huile lourde de 15 ch entraîne donc un matériel exigeant 18 ch, avantage d'autant plus marqué qu'un moteur plus puissant aurait été beaucoup moins économique. De plus, six hommes seulement ont été employés.

Pour l'ensilage, une machine débitant 6 t de fourrages à l'heure exige une puissance d'environ 9 ch, le même moteur pouvant servir au battage.

L'auteur indique encore la possibilité de commander électriquement un trieur en utilisant un réducteur de vitesse à engrenages; il décrit aussi une installation réalisée pour éviter le gel de la pompe par temps froid.

En terminant l'auteur formule des vœux tendant à ce que :

1° Des centres d'études des applications de l'électricité à l'agriculture, subventionnés par les sociétés intéressées, soient créés dans chaque pays;

2° Les mêmes sociétés s'assurent la collaboration de spécialistes pour les installations électriques à la ferme;

3° Une réglementation très sévère de ces installations soit établie et basée sur les principes cités;

4° Le matériel agricole soit normalisé;

5° Des sociétés de crédit à long terme soient créées pour faciliter l'électrification des fermes;

6° Les sociétés intéressées étudient un système de tarification permettant l'emploi économique de l'énergie électrique dans l'agriculture. — R. G.

V. **L'emploi de l'électricité dans les fermes de l'Idaho.** Rapport de Hobart Berresford, chef du Department of agricultural Engineering, Université de l'Idaho, Moscow. — Les nécessités de l'irrigation par pompage ont favorisé le développement de l'électrification de l'Idaho et cela depuis plus de dix ans. La tension généralement adoptée est 2 200 v, bien qu'on tende aujourd'hui à l'emploi de tensions plus élevées (11 000 v); dans les deux cas le courant est monophasé. Dès 1925 on comptait 7 026 usagers ruraux desservis par 1 259 miles de lignes; l'emploi de l'électricité s'est développé encore davantage dans les cinq dernières années. On peut se rendre compte de l'importance de l'électrification en remarquant que sur les 21 412 000 hectares de superficie de l'Idaho dont 1 616 000 sont utilisables, seuls 1 010 000 sont irrigués et se trouvent précisément dans la zone électrifiée. Et cette électrification va en se poursuivant rapidement, puisque les dernières statistiques indiquent que les chiffres donnés pour l'année 1925 sont doublés, de telle sorte que le nombre de fermes électrifiées est égal aux 35,5 pour 100 du nombre total.

En 1925 fut organisé un comité de l'Idaho pour l'étude des rapports de l'électricité et de l'agriculture dans le but d'une coopération avec le Collège d'Agriculture dans sa station d'essais. C'est sur les données de ce comité qu'est établi ce rapport, de même que sur les résultats de la ferme d'essais de la Caldwell Substation of The agricultural Experiment Station créée en août 1926.

Une réalisation intéressante a été la combinaison de l'irrigation et du drainage par pompage dans des puits. Ceux-ci ont été établis pour pouvoir drainer 120 à 240 hectares de terres et pour en irriguer 80 à 120.

Toutes les applications de l'électricité suivent d'ailleurs un développement parallèle (appareils à lessive commandés électriquement, couveuses, chauffage électrique de l'eau de breuvage des troupeaux, etc). A signaler encore l'éclairage des cours et des chantiers extérieurs, éclairage qui peut encore être utile pour l'irrigation exécutée durant la nuit.

L'électrification de la laiterie a donné lieu à des économies considérables. Les études faites à la Caldwell Substation of The agricultural Experiment Station montrent que la machine à traire économise à elle seule 53 heures et demie de travail par vache et par an quand on a affaire à un troupeau de 20 unités. Le temps ainsi trouvé peut être occupé à d'autres travaux. On peut en dire autant en ce qui concerne les stérilisateurs électriques, les réfrigérants, etc.

En définitive, l'électrification rurale de l'Idaho à contribué grandement à l'amélioration des conditions de l'existence dans les campagnes et, il faut bien le remarquer, les progrès de l'agriculture comme ceux des autres industries dépendent non pas tant des progrès du machinisme, mais plutôt du personnel engagé dans cette industrie. — R. G.

VI. **Eclairage électrique et utilisations ménagères de l'électricité dans les réseaux ruraux.** Rapport de M. Porchet, ingénieur en chef du Génie rural. — L'auteur présente en premier lieu les renseignements statistiques concernant le nombre d'abonnés, la consommation annuelle, la consommation par abonné et l'utilisation annuelle de la puissance connectée relativement à trois groupes de communes des départements de l'Eure, de l'Eure-et-Loir et de la Seine-et-Oise.

L'examen des résultats de cette statistique permet de constater que la consommation annuelle par habitant desservi est très variable sur l'ensemble des réseaux étudiés (de 1,31 à 16,11 kw-h) et qu'elle y est inférieure à celle constatée dans une commune de petite banlieue.

Le nombre d'abonnés par habitant desservi varie de 0,042 à 0,218 dans les réseaux ruraux et atteint 0,338 dans la petite banlieue.

Le maximum possible du nombre d'abonnés est fonction de l'importance des familles dans la région desservie; au contraire, dans la petite banlieue où vivent en général des familles moins nombreuses, le chiffre précité de 0,338 correspond à des familles de trois personnes en moyenne.

La consommation annuelle par abonné varie dans les réseaux ruraux de 31,2 à 96,8 kw-h ; cette consommation est de 135 kw h dans la petite banlieue.

L'accroissement de la consommation annuelle de l'abonné peut se faire par augmentation de la puissance souscrite ou de la durée annuelle d'utilisation de cette puissance. Ce dernier procédé est le plus intéressant, du fait qu'il correspond à une augmentation de recettes qui ne nécessitent pas de frais de premier établissement supplémentaires.

Si on examine l'utilisation annuelle de la puissance installée, on constate que cette utilisation a varié dans les réseaux ruraux de 66 à 266 heures, alors qu'elle est de 240 heures dans la petite banlieue; il est donc permis d'espérer qu'à ce point de vue, le réseau rural peut atteindre et même dépasser les réseaux des grandes villes.

L'auteur étudie ensuite les moyens d'amélioration de l'utilisation annuelle de la puissance installée. A cet égard, les installations ménagères doivent être développées, ce qu'on peut obtenir par une propagande bien organisée et un tarif convenablement étudié, lequel, entre autres, ne doit pas nécessiter d'appareillage compliqué et coûteux comme celui requis par la triple tarification horaire.

La formule consistant à décompter au tarif « autres usages » l'énergie consommée sur le circuit d'éclairage au delà d'une certaine durée d'utilisation annuelle de la puissance installée paraît tout indiquée. Toutefois, il est nécessaire de ne pas commencer ce tarif dégressif à partir d'un trop grand nombre d'heures d'utilisation, car l'usager ne profitera de ces dispositions que si, par sa seule consommation d'éclairage, il arrive près du point où commence le tarif dégressif. Les résultats indiqués dans le rapport font ressortir que le chiffre de 200 heures constitue un point de départ normal. D'autre part, lors de l'installation des appareils ménagers, il ne faut pas exiger du client un abonnement d'une puissance trop importante ; il faut plutôt chercher à développer l'emploi d'appareils ménagers d'assez faible puissance.

En conclusion, l'auteur propose au congrès d'émettre le vœu que les distributeurs d'énergie étudient et appliquent le plus largement possible un système de tarification simple permettant de développer l'emploi des appareils ménagers de faible puissance. — L. V.

VII. **L'électricité comme force motrice dans la ferme.** Rapport de Emile Boquet, professeur et chef de bureau d'études à l'Ecole professionnelle des Métiers et de Mécanique agricole de Mons. — L'auteur étudie d'abord les difficultés que soulève le problème de l'équipement électrique d'une ferme. En effet, même dans une ferme modèle, les machines ne peuvent être groupées et se trouvent installées dans divers locaux selon la matière à travailler; de plus, le travail du moteur de ferme est essentiellement intermittent, d'où il résulte qu'adjoindre un moteur à chaque machine serait une solution onéreuse ; enfin, la puissance absorbée par les différentes machines est très variable et le moteur fonctionne dans de mauvaises conditions de rendement.

Les principaux points à envisager pour réaliser dans une ferme une installation mécanique satisfaisante sont le choix, l'emplacement et les types des moteurs à adopter, la facilité d'accès aux machines agricoles et les moyens d'éviter les accidents.

L'auteur considère d'abord le choix des moteurs fixes ou amovibles et leur liaison avec les machines à actionner.

Les dispositions possibles varient suivant la distribution des bâtiments : on peut, par exemple, installer à demeure un ou plusieurs moteurs commandant, par l'intermédiaire d'une transmission, un groupe de machines placées aux endroits appropriés ou bien adopter la même solution, mais avec des moteurs pouvant être facilement déplacés pour la commande des machines à travail saisonnier.

Quand les bâtiments sont par trop dispersés, il est préférable, afin d'éviter les transports, de placer chaque appareil auprès de son dépôt et de faire usage d'un moteur amovible. Dans ce cas, il est nécessaire de tenir compte de l'horaire du travail des machines pour que les déplacements du moteur soient aussi peu fréquents que possible. On peut enfin employer un moteur transportable pour une catégorie d'instruments utilisés par période et doter les machines fonctionnant tous les jours soit chacune d'un moteur fixe, soit d'un moteur pour deux appareils devant travailler simultanément.

Les moteurs et l'appareillage utilisés dans la ferme travaillent souvent dans des conditions défavorables, du fait qu'ils sont mis entre les mains de personnes peu expérimentées, le matériel doit donc être choisi d'une construction particulièrement robuste et toutes précautions doivent être prises afin d'assurer la sécurité du personnel.

A cet égard, relativement aux moteurs mobiles, les câbles souples les reliant aux prises de courant doivent être d'un isolement particulièrement soigné et contenir trois conducteurs de phase et un conducteur neutre réuni, d'une part à la masse métallique mobile et, d'autre part, à la terre; les prises de courant sont disposées dans des boîtes en fonte.

Les emplacements à donner aux machines à actionner doivent être choisis de manière à éviter, dans la mesure du possible, les manipulations et transports à bras des produits qui les alimentent.

En ce qui concerne la répartition du travail des machines, elle doit être réalisée de manière à obtenir le meilleur rendement des moteurs et à occuper un minimum de personnel. Un horaire de fonctionnement minutieusement choisi et l'emploi de transporteurs mécaniques permet de réaliser ces conditions.

L'accès aux machines doit être étudié de manière que celles-ci soient espacées les unes des autres d'au moins 1,50 m, sauf si ces machines doivent travailler successivement aux mêmes produits; enfin, les installations mécaniques doivent être établies de manière à éviter des accidents de personnes, qui pourraient résulter d'une disposition défectueuse des appareils de transmission, notamment de locaux trop petits ou trop bas de plafond ou de transmissions trop peu surélevées.

L'auteur formule en terminant quelques remarques concernant la commande des machines et les transformations qu'il y a lieu de leur faire subir pour l'adaptation des moteurs, notamment quand l'axe de la machine est trop faible pour supporter la poulie et le porte-à-faux et quand les coussinets ne sont pas appropriés à une augmentation de vitesse. — L. V.

VIII. **L'électricité comme moyen de chauffage dans l'exploitation agricole**. Rapport de G. Boukaert, ingénieur A. I. G., professeur de génie rural à l'Institut agronomique de l'Etat à Gembloux, directeur de la Station de Génie rural. — L'utilisation dans la ferme de l'énergie électrique pour le chauffage s'applique : 1° au chauffage des locaux; 2° à diverses applications ménagères; 3° au chauffage de l'eau; 4° à la cuisson des aliments; 5° au chauffage des couveuses et éleveuses; 6° pour des usages divers, tels que l'ensilage.

1. Chauffage de l'eau. — Le problème du chauffage de l'eau à la ferme est extrêmement intéressant et cette application de l'énergie électrique est appelée à prendre une grande extension. Elle peut comporter deux solutions: 1° L'emploi d'un réservoir de capacité suffisante pour les besoins normaux de la journée et formant accumulateur de chaleur dans lequel la température est maintenue constante grâce à un bon isolement calorifique, avec chauffage durant la nuit; 2° l'emploi de réservoirs de plus faible capacité raccordés à une distribution d'eau froide qui vient remplacer l'eau chaude au fur et à mesure des prélèvements. Dans ce cas, l'appareil est en service intermittent pendant la journée et la mise en marche et l'arrêt des éléments de chauffe doit s'effectuer automatiquement (1).

Selon l'auteur, la première solution paraît la plus simple et la plus pratique pour la ferme.

2. Chauffage des couveuses et éleveuses. — Le chauffage électrique des couveuses et éleveuses procure l'avantage d'une grande régularité de température et l'absence de toutes fumées ou gaz nuisibles à l'incubation; ces deux facteurs dominent d'ailleurs toute l'opération, le point de vue de la dépense restant, dans ce cas, accessoire. Le chauffage des couveuses est réalisé, soit par des éléments incandescents mis en service ou éliminés automatiquement par un régulateur de température, soit par des résistances métalliques disposées en réseau au-dessus des œufs.

Pour une couveuse d'une capacité de 6000 œufs, l'auteur indique une consommation par 1000 œufs de 32 kw-h.

En ce qui concerne les éleveuses électriques, les unes sont à éléments de chauffe incandescents, les autres à éléments non incandescents; leur puissance doit assurer une température de 33 à 35°C à 5 cm au-dessus du plancher.

La consommation d'énergie électrique est variable et dépend de la surface réservée à chaque poussin et de la ventilation admise sous un climat tempéré; avec une bonne ventilation, la puissance installée sera de 2 w par poussin; toutefois, en réduisant la ventilation par des rideaux, la capacité de chauffe des éléments correspondra de 1,5 à 2 w par poussin.

L'auteur indique qu'une éleveuse du type à éléments de chauffe non incandescents, avec une moyenne de 675 poussins, a consommé 0,474 kw-h par poussin pour une période de 40 jours; une autre éleveuse du type à

(1) L. Sartre; Description et résultats d'essais contrôlés de chauffe-eau électrique à accumulation. *Revue générale de l'Electricité*, 23 avril 1927, t. XXI, p. 656-662.

M. Gacogne; A propos du chauffage électrique de l'eau. *Revue générale de l'Electricité*, 16 juillet 1927, t. XXII, p. 115-120.

éléments de chauffe incandescents, avec une moyenne de 687 poussins, a consommé 1,553 kw-h pour une période de 50 jours. Dans le premier cas, le pourcentage de mortalité a été de 17,4, dans le second cas, caractérisé par une meilleure ventilation mais une plus forte consommation d'énergie électrique, ce pourcentage a été de 13,3 pour 100.

3. Ensilage. — Dans l'ensilage électrique, le fourrage frais et haché, placé dans le silo, est intercalé dans le circuit électrique sous une couche d'une épaisseur d'environ 1 m; la masse oppose alors une grande résistance au passage du courant et l'échauffement se produit. L'opération demande 10 à 16 heures et la consommation d'énergie est de 25 kw-h environ par tonne de fourrage vert.

L'auteur conclut que l'emploi de l'énergie électrique comme moyen de chauffage à la ferme est susceptible d'un large développement; toutefois il reste subordonné au prix du kilowatt-heure. Il émet le vœu que les distributeurs étudient un tarif favorable à ces applications, par exemple, un tarif dégressif fonction de l'importance de la consommation. — L. V.

IX. **Applications de l'électricité en agriculture. Discussion économique sommaire du labourage électrique.** Rapport de Leopoldo-Manso Diaz, ingénieur agronome, membre de la Commission électrotechnique internationale, professeur à l'Institut agricole Alphonse XIII à Madrid. — L'auteur, considérant la nécessité d'un examen minutieux permettant de décider si au point de vue économique l'adoption du labourage électrique est indiqué ou non, élabore une formule répondant à ce but. Cette dernière se présente sous forme d'une inégalité; le labourage électrique sera recommandé si les résultats obtenus en appliquant cette formule à un cas bien déterminé accuse une différence nettement satisfaisante entre les deux membres de l'inégalité. Au contraire, une différence nettement défavorable indique qu'on doit renoncer à l'électrification. Au cas où les deux membres de l'inégalité seraient à peu près égaux, le projet d'électrification devrait être plus complètement étudié avant de formuler une opinion définitive. — L. V.

X. **La motoculture électrique**. Rapport de A. Alpe, professeur de mécanique au Regio Istituto superiore agrario de Milan, directeur de l'Istituto sperimentale di Mecanica agraria. — Dans ce rapport, l'auteur retrace l'historique de l'application du moteur électrique à la ferme, relativement à l'Italie, et expose les conditions actuelles dans lesquelles l'emploi de l'électricité dans les travaux agricoles présente un intérêt spécial. Il émet, en conclusion, les vœux suivants :

1° Les essais pratiques de tous les appareils d'électroculture doivent être encouragés par des concours internationaux ou par des accords pris par les instituts d'expérimentation, en publiant les résultats de ces essais;

2° Les entreprises d'électroculture appartenant à des sociétés de distribution d'énergie électrique doivent être encouragées par des prix proportionnés à leur activité et aux résultats obtenus en faveur de l'agriculture;

3° La construction des petits appareils électriques depuis les treuils jusqu'aux engins de culture rotatifs, destinés à la petite exploitation agricole, doit être intensifiée par tous les moyens. — L. V.

XI. **Le labourage électrique par treuil et câble de traction. Organisation d'un centre de labourage électrique**. Rapport de J.-H. Sourissbau, professeur à l'Université de Toulouse. — Ce rapport a pour but de préciser les conditions nécessaires au développement du labourage électrique et de faire connaître son état actuel en France.

Le labourage électrique utilisant des câbles et des tambours d'enroulement est approprié à toutes les opérations concernant la préparation du sol et spécialement le « sous-solage », opération consistant à remuer le sous sol sur place sans le remonter à la surface. Le type d'équipement qui doit être de préférence adopté par une grande exploitation agricole est celui comprenant deux treuils automoteurs entre lesquels la charrue-bascule fait le va-et-vient.

Les tambours d'enroulement du câble électrique sont reliés à un transformateur installé dans un fourgon et réduisant à des valeurs comprises entre 5 000 et 500 v la tension des lignes d'alimentation, laquelle est comprise entre 5000 et 15000 v. Les conducteurs entre le transformateur et les moteurs sont composés de câbles flexibles composés de trois fils isolés.

L'auteur définit la capacité de travail d'un équipement électrique de labourage la surface qu'il est capable de cultiver par unité de temps, c'est-à-dire une journée de huit à dix heures de travail réel.

Dans chaque opération culturale on doit utiliser toute la puissance du moteur dont dépend la capacité de travail du matériel; par exemple, en supposant la vitesse de la charrue égale à 1 m:s et le rendement mécanique du treuil de 0,70, en comptant 1,5 pour le temps perdu, on obtient par journée de dix heures de travail :

Nombre de socs de la charrue	Puissance du moteur du treuil en chevaux	Surface labourée en 10 heures en hectares
1 soc	14	1,08
2 socs	28	2,16
3 socs	42	3,24
4 socs	56	4,32
4 socs avec fouilleurs	86	4,32

La surface cultivée dans une journée dépend de la surface des champs. Ceux-ci doivent avoir une surface minimum correspondant à une journée de travail normal du matériel. Les agriculteurs doivent organiser

l'assolement de manière à réduire au minimum le déplacement du matériel de labourage.

En ce qui concerne le branchement du matériel sur une ligne à haute tension de 15 000 v, cette opération doit pouvoir s'effectuer sans nécessiter l'interruption du courant, Ces conditions sont obtenues en utilisant des sectionneurs aériens ou des contacts à plateaux auxquels on accède au moyen d'une échelle.

Le câble souple doit avoir une longueur suffisante pour prospecter de chaque côté des lignes fixes une surface d'au moins 20 à 30 hectares. A cet effet, une partie du câble souple, par longueur de 300 ou 500 m est enroulée sur des tourets montés sur deux roues avec flèche ou brancard; le reste du câble souple est placé sur le treuil, ce qui permet à ce dernier de balayer une aire de labours s'étendant à 1 500 m autour du fourgon contenant le transformateur.

Le matériel mécanique et électrique doit résister, sans réparations fréquentes, aux à-coups du labourage. A cet effet, l'arbre du moteur doit être monté sur roulements à billes et, d'après les observations que l'auteur a eu l'occasion de faire, il serait nécessaire de mieux étudier l'appareillage, notamment les interrupteurs dans l'huile, et de tenir compte de la fréquence des manœuvres.

Relativement au treuil, la traction exercée pour tirer la charrue ne doit ni renverser, ni faire glisser ce dernier, Dans ces conditions, si on examine les avantages et inconvénients des treuils lourds et des treuils légers, on constate que chaque système a ses domaines d'emploi, Il semble toutefois que les treuils doivent avoir un poids compris entre 12 et 25 t avec des moteurs de 40 à 50 ch.

L'auteur envisage ensuite la question des dangers d'électrocution. Il conseille d'utiliser un appareillage électrique offrant toutes garanties de sécurité, de le réviser soigneusement, de faire l'instruction du personnel des chantiers de labourage électrique, d'étudier un indicateur de courant à la masse et de placer sur le fourgon contenant le transformateur un appareil de protection contre les surtensions.

Il décrit ensuite quelques centres de labourage électrique et aborde la question du prix de l'hectare labouré; à cet égard, on peut tabler sur le chiffre moyen de 30 à 45 kw-h pour des labours de 15 cm de profondeur 50 à 65 kw-h pour des labours de 20 à 25 cm; 90 à 120 kw-h pour des labours de 25 à 30 cm plus 12 à 15 cm de fouillage.

En moyenne, le prix du labour est de 12 à 15 fr par centimètre de profondeur, le prix de l'énergie à haute tension, sans taxe de puissance, étant de 0,60 fr le kilowatt-heure; le prix du kilowatt-heure consommé entre environ pour un huitième du prix du labour de un hectare.

Comme conclusions à ce travail, l'auteur, considérant :

1° Que le labourage électrique n'est pratiquement possible qu'avec des rayages ayant au minimum 200 m de longueur et des champs d'une surface minimum de 4 à 10 hectares;

2° Que l'électrification rurale est étroitement liée au labourage électrique, que le labourage électrique se développera avec des coopératives confiant l'exploitation de leur matériel à des entrepreneurs spécialisés; enfin, que l'organisation rationnelle d'un chantier de labourage électrique se heurte actuellement à des difficultés (aire géographique du chantier trop étendue, champs trop petits, rayages trop courts, etc.);

3° Que les progrès réalisés actuellement pour le labourage électrique ont écarté, par les perfectionnements apportés dans la technique, tout danger spécial d'électrocution (le matériel est conduit sans accident, par des ouvriers non spécialisés);

4° Que l'utilisation du courant électrique dans les campagnes se développant rapidement;

Demande que le Congrès émette les vœux suivants :

1° Que dans chaque canton, une commission composée d'un délégué par commune, soit nommée par l'autorité départementale pour accélérer les opérations d'abornement et de remembrement de parcelles, opérations facilitées par une législation spéciale dans les différents pays, par exemple en France et en Allemagne;

2° Que les pouvoirs publics subventionnent les coopératives pour l'acquisition de matériel complet de labourage électrique en ordre de marche (matériel mécanique et matériel électrique) et accordent une prime provisoire pour chaque hectare labouré électriquement, prime variant selon la profondeur du labour;

3° Qu'il soit obligatoire de se conformer dans les installations de labourage, comme dans les autres installations électriques, aux nouvelles règles énoncées dans le règlement des installations électriques de l'Union des Syndicats de l'Electricité et que des appareils de sécurité contre les surtensions soient installés sur le réseau rural et dans le fourgon du transformateur;

4° Que dans tous les postes de transformation (fixes ou mobiles) et aux portes des mairies, soient affichées des instructions énumérant les précautions à prendre et les soins immédiats à donner aux électrocutés pour les ramener à la vie;

5° Que tout cas d'électrocution soit l'objet d'une enquête approfondie sur les causes de l'accident et ses suites, par un ingénieur et un médecin qualifiés et que les procès-verbaux soient centralisés, analysés et publiés par le service du Contrôle des Distributions d'Energie électrique. — L. V.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Un nouveau phénomène d'optique : l'effet Raman

L'effet Raman est, comme on le sait, le phénomène que l'on observe dans un faisceau de lumière diffusée par un milieu non fluorescent : on constate que, si le faisceau incident est de la lumière monochromatique, la lumière diffusée comprend des radiations secondaires de fréquences différentes de celle de la lumière incidente. Après avoir rappelé cette définition de l'effet Raman et insisté sur le caractère général dudit effet, l'auteur montre, dans l'article qui suit, que son explication ne peut être basée que sur la théorie des quanta et il donne un aperçu de cette explication.

I. **Découverte de l'effet Raman.** — On sait aujourd'hui que tout milieu transparent, qu'il soit gazeux, liquide ou solide, traversé par un faisceau de rayons lumineux, devient le siège d'une émission de lumière observable, en particulier, dans une direction normale au faisceau (fig. 1). En se plaçant latéralement, on aperçoit, à condition de prendre quelques précautions pour éliminer les lumières parasites, la trace du faisceau lumineux à travers le milieu (1). Jusqu'à ces tout derniers temps, on croyait que la lumière ainsi diffusée par les molécules était absolument identique à la lumière incidente. Effectivement, si l'on analyse au moyen d'un spectrographe la lumière que diffuse un milieu non fluorescent éclairé par un faisceau de lumière monochromatique de fréquence N_0, on y constate, comme phénomène principal, l'existence d'une radiation de même fréquence N_0 que la radiation incidente. Mais en outre, si la pose destinée à l'obtention du cliché donnant le spectre de la lumière diffusée est assez longue, le spectrogramme enregistré révèle, comme phénomène secondaire, une émission, d'ailleurs beaucoup moins intense, de radiations que ne comportait pas le faisceau incident. C'est là le phénomène découvert en février 1928 par le physicien hindou Raman (2) sur un certain nombre de liquides purs et, presque simultanément, par les physiciens russes Landsberg et Mandelstam (3) sur les cristaux de quartz et de spath d'Islande. Mais comme le travail des physiciens russes n'a été publié qu'en mai 1928, c'est-à-dire postérieurement à celui de Raman, le phénomène porte le nom du savant qui l'a fait connaître le premier et il est universellement désigné sous le nom d' « effet Raman ».

Il apparaît comme l'un des phénomènes les plus importants de l'optique par les conséquences qui en découlent relativement aux théories de la lumière et aux rapports entre la matière et le rayonnement. Aussi a-t-il déjà fait l'objet d'un nombre considérable de publications.

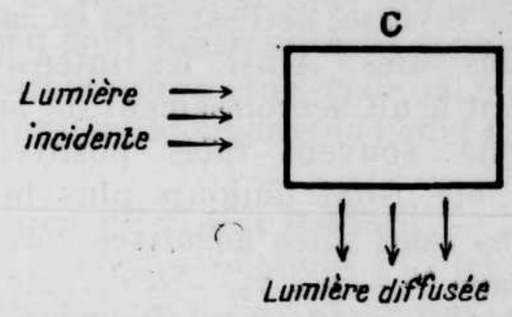


Fig. 1. — Observation de l'effet Raman par l'analyse spectrographique de la lumière diffusée par un liquide contenu dans une cuve C.

La figure 2 montre schématiquement le dispositif utilisé par Neil B. Reynolds et John Warren pour l'étude de l'effet Raman. Le liquide à étudier est disposé dans un long tube éclairé suivant sa longueur par la lumière d'un arc. Le spectre de la lumière diffusée à angle droit est enregistré par un spectrographe à travers une fente disposée à l'extrémité du tube.

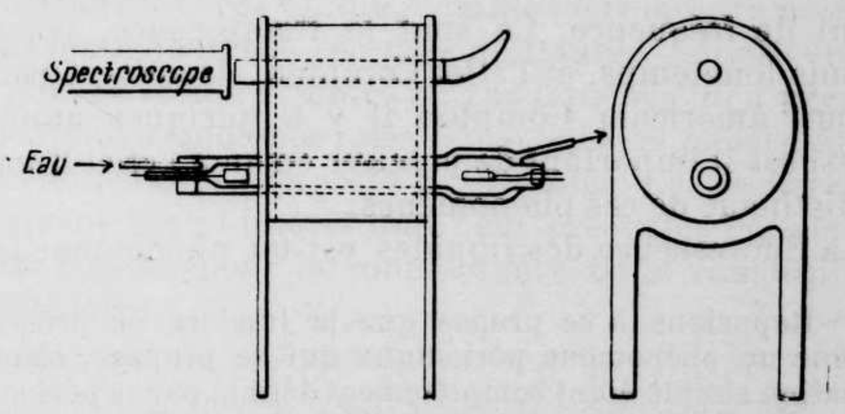


Fig. 2. — Dispositif utilisé pour l'étude de l'effet Raman.

(1) On croyait autrefois qu'il existait des liquides optiquement vides dans lesquels un faisceau lumineux ne marquait son passage par aucune trace. C'était tout simplement qu'on n'avait pas suffisamment éliminé l'influence des lumières étrangères et qu'on n'observait pas le liquide sur un fond absolument noir. On sait aujourd'hui qu'aucun liquide, si pur soit-il, n'est optiquement vide, pas plus d'ailleurs qn'aucun gaz ou aucun solide.

(2) C.-V. Raman. *Indian Journal of Physic.*, 1928, t. II, p. 1-12.

(3) G. Landsberg et L. Mandelstam. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 9 juillet 1928, t. CLXXXVII, p. 109-111.

II. **Caractères expérimentaux du phénomène.** — Lorsqu'on examine le spectre de la lumière diffusée par un corps pur non fluorescent, on constate que ce spectre comporte une raie de même fréquence N_0 que la radiation incidente ; mais cette raie est entourée de part et d'autre de raies secondaires dont l'intensité décroît rapidement à mesure qu'on s'éloigne de la raie principale ; elles ont pour fréquences :

$$N_0 \pm n_1,\ N_0 \pm n_2,\ N_0 \pm n_3 \ldots N_0 \pm n_i.$$

Ces grandeurs $n_1, n_2, n_3, \ldots n_i$, indépendantes de N_0 étant caractéristiques du milieu considéré (1). L'ensemble des raies ou des bandes excitées par une radiation monochromatique constitue le spectre Raman du milieu.

Il s'agit là d'un phénomène tout à fait général qu'on a constaté avec toutes les radiations excitatrices utilisées jusqu'à ce jour, même les rayons X, et avec tous les milieux interposés.

Le phénomène, qui est symétrique du point de vue des fréquences, puisqu'à toute fréquence $N_0 + n_i$ correspond une fréquence $N_0 - n_i$ décalée de la même quantité n_i par rapport à la fréquence fondamentale mais en sens inverse, ne l'est plus en ce qui concerne l'intensité des raies. Ainsi, les intensités des raies correspondant à un accroissement de la fréquence et qu'on appelle souvent raies positives, $N_0 + n_1$, $N_0 + n_2$, ... etc., sont toujours plus faibles que les intensités des raies dites négatives correspondant au même décalage $N_0 - n_1$, $N_0 - n_2$ ..., etc. Ce sont donc les raies négatives qu'il est le plus facile d'observer et d'étudier.

L'effet Raman n'est que très peu modifié par la température et l'état physique du milieu. Le spectre obtenu change au contraire avec la nature chimique du milieu étudié.

III. **Distinction entre l'effet Raman et la fluorescence et l'effet Compton.** — On connaît d'autres phénomènes optiques où le passage d'une radiation à travers un milieu matériel s'accompagne d'un changement de fréquence. Ce sont la fluorescence, connue depuis longtemps, et l'effet Compton, découvert par le savant américain Compton il y a quelques années. Aussi est-il important de préciser en quoi l'effet Raman se distingue de ces phénomènes.

La fluorescence des liquides est un phénomène très particulier que présentent seulement un petit nombre de liquides ou de solutions, alors que l'effet Raman est, comme nous l'avons indiqué plus haut, tout à fait général. De plus, le spectre de fluorescence est constitué par des bandes plus ou moins larges dont les fréquences ne sont pas liées à la fréquence de la raie excitatrice. Sans doute, certaines vapeurs fluorescentes, les vapeurs d'iode ou de sodium, par exemple, émettent des raies dont la fréquence est liée à la fréquence d'excitation. Mais ces raies forment toujours une série comprise dans un intervalle spectral limité et la fluorescence n'apparaît que si la radiation excitatrice fait partie d'un groupe déterminé de radiations constituant le spectre d'excitation. C'est là un des caractères distinctifs essentiels entre la fluorescence et l'effet Raman : la fluorescence n'est excitée que par des radiations déterminées, généralement de courte longueur d'onde, c'est-à dire de grande fréquence, tandis que l'effet Raman apparaît quelle que soit la radiation utilisée, l'écart des diverses radiations secondaires par rapport à la radiation principale étant absolument indépendant de celle-ci.

Quant à l'effet Compton, qui consiste en une diminution de fréquence au cours d'une diffusion, il n'a été observé que sur les rayons X. Il ne donne naissance qu'à une seule radiation diffusée, de fréquence d'ailleurs peu différente de celle de la radiation principale, l'écart de fréquence ne dépendant aucunement du milieu sur lequel se produit la dispersion et étant uniquement en rapport avec les propriétés de ce constituant universel de la matière qu'est le corpuscule d'électricité négative, ou électron.

IV. **Théorie du phénomène.** — Il reste maintenant à indiquer le principe de la théorie qui a été imaginée pour rendre compte de l'effet Raman. Disons tout de suite que cet effet est l'un des phénomènes dont on ne peut donner une théorie simple qu'en s'appuyant sur l'hypothèse des quanta de lumière. Le savant américain Wood, qui a publié un très beau travail sur l'effet Raman, indique qu'il faut le considérer comme l'une des meilleures preuves qu'on puisse fournir à l'appui de l'hypothèse des quanta.

On sait que, d'après cette hypothèse, la lumière se propage par photons transportant une énergie $E = hn$ proportionnelle à la fréquence de la radiation envisagée, le coefficient h étant une constante universelle, dite constante de Planck ; de plus, tout échange d'énergie entre un rayonnement et la matière ne peut se faire que par multiple du quantum hn correspondant à la fréquence de la radiation avec laquelle s'est produit l'échange d'énergie.

D'autre part, une molécule matérielle doit être regardée comme un système composé d'atomes susceptibles d'exécuter à l'intérieur de la molécule des vibrations plus ou moins complexes, la molécule, qui tourne toujours sur elle-même avec une grande vitesse, pouvant éprouver des variations dans son mouvement de rotation, et les électrons qui interviennent dans la constitution des atomes étant eux-mêmes susceptibles

(1) Rappelons à ce propos que la lumière se présente comme un phénomène périodique qui se propage, chaque radiation simple étant complètement définie par sa période T ou sa fréquence $\nu = \frac{1}{T}$. Mais, en général, on préfère introduire, au lieu de la période T, la longueur d'onde dans le vide $\lambda = cT$, où c désigne la vitesse de propagation de la lumière dans le vide, qui est la grandeur directement accessible à l'expérience. Au lieu de la fréquence, on considère souvent, dans les publications modernes sur l'optique, le nombre d'ondes par unité de longueur N égal au quotient de la fréquence par la vitesse de la lumière et qu'on appelle suvent simplement fréquence pour abréger.

d'éprouver d'importantes modifications dans les trajectoires qu'ils décrivent. Aussi l'énergie interne d'une molécule est-elle susceptible de varier. Mais la physique a depuis longtemps rigoureusement établi que cette énergie ne peut prendre qu'un petit nombre de valeurs tout à fait déterminées, par exemple, ε_0, ε_1, ε_2, ε_3, ... ε_p. L'énergie la plus petite, par exemple ε_0, correspond à ce qu'on peut appeler l'état normal de la molécule, les énergies supérieures, que nous supposerons rangées dans l'ordre croissant, ε_1, ε_2, ε_3, ... ε_p, correspondant à ce qu'on appelle habituellement les divers états excités de la molécule. Tout accroissement d'énergie, disons de ε_1 à ε_4, peut être produit par absorption d'une radiation extérieure ou par un apport provenant du choc des molécules voisines, tandis que toute diminution d'énergie correspond à une perte sous forme soit d'une radiation émise, soit d'une transmission d'énergie par choc à une molécule voisine.

Les différences $\varepsilon_1 - \varepsilon_0$, $\varepsilon_2 - \varepsilon_0$, .. $\varepsilon_p - \varepsilon_0$ représentent des quanta hn_{n1}, hn_{n2} ... hn_{np} correspondant aux radiations n_1, n_2, ... n_p, dont l'absorption par la molécule la fait passer de l'état normal à ses divers états excités.

Ceci posé, considérons un faisceau lumineux monochromatique dont les photons transportent une énergie $E_0 = hN_0$. Dans l'action d'un de ces photons sur une molécule du milieu, un échange d'énergie entre le photon et la molécule peut ou non se produire; d'où les divers cas possibles suivants :

1° Aucun échange d'énergie ne se produit et l'énergie E_0 transportée par le photon est tout entière émise à nouveau par la molécule sous forme d'un photon de même énergie E_0 et par suite de même fréquence N_0 que la radiation incidente. C'est le phénomène de la diffusion moléculaire proprement dite, le seul que l'on connût avant la découverte de Raman;

2° Une partie e de l'énergie E_0 transportée par le photon est absorbée par la molécule qui passe ainsi à un état d'excitation plus avancé, le reste de l'énergie du photon $E_0 - e$ étant émis à nouveau par la molécule. Comme la quantité e d'énergie absorbée ne peut être que la différence entre les énergies de deux quelconques des états possibles de la molécule, disons ε_2, ε_4 et on aura

$$e = \varepsilon_4 - \varepsilon_2 = h(n_4 - n_2) = hn,$$

la valeur de l'énergie absorbée correspondant au quantum d'une radiation de fréquence n. Par suite, la radiation émise par la molécule, de quantum

$$E_0 - e = h(N_0 - n)$$

correspondant à une fréquence diminuée $N_0 - n$, constituera une des raies dites négatives de l'effet Raman;

3° Inversement, si le photon de la radiation incidente frappe une molécule qui se trouve dans un état activé, celle-ci peut perdre une partie e de son énergie, l'énergie émise à nouveau sous forme de radiation étant alors $E_0 + e$. Comme la quantité e d'énergie perdue par la molécule ne peut être que la différence entre les énergies de deux quelconques des états possibles, disons ε_4 et ε_2, de la molécule, on aura

$$e = \varepsilon_4 - \varepsilon_2 = h(n_4 - n_2) = hn.$$

Par suite, la radiation émise par la molécule, de quantum

$$E_0 + e = h(N_0 + n)$$

correspondant à une fréquence augmentée $N_0 + n$, fera partie des raies dites positives de l'effet Raman.

Ainsi, l'étude de l'effet Raman confirme, ce qu'on savait depuis la découverte de l'effet Compton, qu'un quantum lumineux peut être non seulement utilisé dans son ensemble mais aussi par parties, le reste apparaissant sous forme d'un photon de fréquence diminuée $N - n$. Mais elle montre, en outre, qu'un photon peut capter une certaine énergie empruntée à des molécules matérielles pour donner un nouveau photon d'énergie et, par suite, de fréquences plus grandes, fait absolument nouveau dont Einstein avait depuis longtemps affirmé la possibilité théorique, mais qui n'avait jamais été constaté avant la découverte de l'effet Raman.

V. **Importance de l'effet Raman.** — Les mesures de la position des raies relatives à l'effet Raman font connaître les fréquences n_1, n_2, ... n_p qui caractérisent les échanges d'énergie rayonnante que peuvent éprouver les molécules d'un corps; ces fréquences appartiennent au domaine des radiations infrarouges et définissent le spectre d'absorption infrarouge de la substance, très difficile à obtenir directement, alors que la mesure des écarts entre les fréquences des diverses raies satellites de l'effet Raman et de la fréquence de la radiation principale N_0 n'offre aucune difficulté lorsqu'on dispose d'un bon spectrographe. Ces fréquences sont étroitement liées à la constitution chimique du corps étudié, comme l'ont montré notamment les recherches récentes de Daure (1) dont l'étude de plus de trente liquides ou gaz liquéfiés lui a permis de rattacher quelques raies à des liaisons moléculaires déterminées des composés hydrogénés. Ces recherches montrent tout l'intérêt que peut présenter l'étude de l'effet Raman pour la connaissance de la constitution moléculaire.

A. Boutaric,
Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

(1) Daure. *Annales de Physique*, décembre 1929, t. XIII.
On pourra consulter également l'étude sur l'effet Raman publiée par Cabannes dans la *Revue d'Optique*, décembre 1929

Revues, analyses et informations

Recherches sur les propriétés diélectriques des gaz ionisés et la décharge en haute fréquence (1).

1. Introduction. — Les théories de la propagation des ondes radiotélégraphiques autour de la Terre font intervenir les propriétés des gaz ionisés de la haute atmosphère. Eccles en 1912, puis Larmor en 1924 ont montré qu'un courant de convection dû au déplacement des ions dans un champ alternatif provoquait une augmentation de la vitesse de propagation. En désignant par v_0 la vitesse de propagation dans le gaz non ionisé, et par v_1 la vitesse dans le même gaz contenant N ions par centimètre cube, la théorie formulée par ces auteurs conduit à la relation

$$\frac{1}{v_1^2} = \frac{1}{v_0^2} - \frac{4\pi N e^2 \mu}{m\omega^2}, \qquad (1)$$

m et e désignant la masse et la charge de l'ion, μ la perméabilité magnétique du gaz et ω la pulsation des ondes supposées sinusoïdales. La vitesse v_1 est celle que l'on trouverait dans un milieu de constante diélectrique

$$K_1 = K_0 - \frac{4\pi N e^2}{m\omega^2}, \qquad (2)$$

K_0 désignant la constante diélectrique du milieu non ionisé.

La constante K_1 décroît lorsque N augmente et, pour un milieu suffisamment ionisé, K_1 devient négatif. Ce résultat n'ayant pas de signification physique, il était utile de rechercher par l'expérience quelles peuvent être les propriétés diélectriques des gaz ionisés.

On ne possédait jusqu'ici que très peu de résultats expérimentaux sur cette question. Les expériences faites, à la pression atmosphérique, sur des gaz très peu ionisés n'avaient donné aucun résultat. Seul, van der Pol, à la suite d'expériences faites à faible pression sur un gaz traversé par une décharge, avait pu constater l'existence d'une constante diélectrique inférieure à l'unité.

L'auteur s'est proposé d'étudier dans un champ alternatif les propriétés d'un gaz ionisé et de rechercher ce qui se passe lorsque le nombre d'ions est assez grand pour que la formule (2) donne des valeurs négatives de K_1. Il importait d'utiliser des fréquences très élevées afin que l'amplitude des oscillations d'un électron restât très petite, vis-à-vis du diamètre du tube contenant le gaz ionisé. C'est seulement dans ces conditions que la paroi ne trouble pas d'une façon notable les oscillations électroniques.

Le tube contenant le gaz était disposé entre les armatures d'un condensateur dans le circuit d'un résonateur ; la mesure de l'intensité efficace du courant dans ce résonateur permettait d'obtenir l'ordre de grandeur de l'amplitude des oscillations du champ. Elle était inférieure à 10 volts par centimètre. La double amplitude des oscillations d'un électron entièrement libre est alors inférieure à 0,1 cm pour des ondes de 4 m et à 0,04 cm pour des ondes de 2 m. L'auteur a utilisé des ondes de longueur égale ou inférieure à 4 m dans des tubes dont le diamètre était d'environ 4 cm. La méthode utilisée consiste, en principe, à mesurer les variations de période propre et d'amortissement du résonateur lorsqu'on change l'ionisation du gaz ; ces mesures ont été effectuées par deux méthodes différentes.

2. Première série d'expériences. — Le résonateur est constitué par deux lames de cuivre parallèles (20,2 cm × 4 cm), distantes de 4 cm et réunies par un fil de cuivre de 92 cm de longueur, au milieu duquel est intercalée une soudure thermoélectrique. Le courant dans le résonateur échauffe la soudure en sorte que la déviation du galvanomètre relié au circuit de la soudure est proportionnelle au carré de l'intensité efficace de ce courant. Parallèlement au plus long côté des lames de cuivre formant les armatures du condensateur est disposé un tube de verre, de 4 cm de diamètre et de 40 cm de longueur, à l'intérieur duquel, après avoir fait le vide, on introduit de l'hydrogène au moyen d'un osmorégulateur Villard. La longueur d'onde du résonateur lorsque le gaz n'est pas ionisé est 408,5 cm.

Le gaz peut être ionisé à l'intérieur du tube en y faisant passer une décharge entre deux électrodes constituées par des anneaux de papier d'étain collés aux extrémités du tube contre la paroi externe. Ces électrodes sont réunies à une bobine accordée sur la fréquence d'un oscillateur à deux lampes, du modèle Métal E_4, montées en parallèles. La tension de plaque est de 1 000 v et la longueur d'onde de cet oscillateur, de 115 m. On s'est assuré que ces oscillations, de fréquence beaucoup plus faible que celle du résonateur, étaient sans influence sur celui-ci et ne provoquaient aucune déviation du galvanomètre.

Lorsque la décharge passe, il se produit, au milieu du tube, dans la région placée entre les armatures du condensateur, une lueur bien homogène. On modifie l'ionisation en augmentant ou en diminuant le courant de chauffage des filaments des lampes. Le résonateur est couplé, en couplage très lâche, avec un second oscillateur à une seule lampe dont la tension de plaque est 240 v. On peut faire varier d'une façon continue sa longueur d'onde afin de l'accorder sur le résonateur en modifiant la longueur du fil de plaque par un dispositif convenable.

Pour accorder l'oscillateur sur le résonateur, on modifie la longueur d'onde de l'oscillateur jusqu'à ce que l'échauffement de la soudure thermoélectrique passe par un maximum et l'on mesure, par la déviation du galvanomètre, le carré de l'intensité efficace du courant de résonance. Une ligne de deux fils, réunis à leur origine par une seconde soudure thermoélectrique et sur laquelle se déplace un pont, est également couplée à l'oscillateur et sert à mesurer la longueur d'onde lorsque l'accord du résonateur et de l'oscillateur est obtenu. La mesure de l'internœud se fait à moins de 1 mm près.

Le gaz contenu dans le tube n'étant pas ionisé, on règle l'oscillateur de manière à obtenir la plus grande déviation possible du galvanomètre relié à la soudure du résonateur ; ce dernier étant alors en résonance, on note l'intensité du courant qui le traverse et on détermine la longueur d'onde de l'oscillateur en notant les positions du pont pour lesquelles la ligne couplée à l'oscillateur est en résonance. On ionise ensuite le gaz en y faisant passer la décharge et on répète les mêmes déterminations que précédemment, et cela, pour des intensités croissantes de la décharge et pour des pressions différentes dans le tube (ces pressions étant mesurées par une jauge de Dunoyer).

(1) H. Gutton. *Annales de Physique*, janvier, t. XIII (10e série), p. 62-129, 23 500 mots, 28 figures.

En opérant sous des pressions très faibles, on constate que pour des ionisations faibles la longueur d'onde de résonance décroît lorsque l'ionisation augmente, ce qui indique une diminution de la période sans amortissement du résonateur et, par suite, de sa capacité. Une ionisation faible produit ainsi, comme le prévoit la théorie d'Eccles, une diminution apparente de la constante diélectrique. On constate également que le courant de résonance diminue, ce qui indique un accroissement dans l'amortissement du résonateur.

Lorsqu'on continue à faire croître l'ionisation, la longueur d'onde du résonateur cesse de diminuer et passe par un minimum; après quoi un très faible accroissement d'ionisation augmente beaucoup la longueur d'onde du résonateur (lors de cette variation brusque son amortissement est maximum). Après cette brusque augmentation, la longueur d'onde du résonateur passe par une valeur maximum. Enfin, pour les plus grandes ionisations, elle décroît en même temps que l'amortissement du résonateur diminue. La longueur d'onde de résonance tend, pour les plus grandes ionisations, et, par suite, pour les plus grandes conductivités du gaz, vers une valeur limite. Comme la période pour laquelle la résonance se produit reste, sauf pour les très grands amortissements, très voisine de la période sans amortissement, les variations de longueur d'onde sont la conséquence de variations de la capacité du résonateur. Les expériences montrent donc qu'à partir d'une ionisation suffisante, la diminution de constante diélectrique du gaz ionisé ne se continue pas lorsque croît l'ionisation et que l'on observe, au contraire, une brusque augmentation. La théorie d'Eccles n'explique pas ce fait.

Lorsqu'on opère sous des pressions de plus en plus élevées, les limites entre lesquelles varie la longueur d'onde se rapprochent, et, pour la pression correspondant à la hauteur d'une colonne de mercure de 0,100 mm, on n'observe plus ni maximum, ni minimum de la longueur d'onde de résonance ; l'amortissement maximum du résonateur diminue.

Des expériences exécutées en remplaçant le tube contenant le gaz ionisé par un tube rempli d'une solution très étendue de chlorure de potassium dont on augmentait progressivement la concentration donnent des résultats analogues à ceux que fournit un gaz ionisé dont la pression est suffisamment élevée.

3. Seconde série d'expériences. — L'auteur a repris les expériences précédentes par un procédé un peu différent qui, en permettant le calcul du résonateur, pouvait donner les valeurs de la constante diélectrique; de plus, pour chaque ionisation la conductivité du gaz était mesurée.

Comme dans les expériences décrites au paragraphe précédent, l'auteur a retrouvé une brusque variation de la constante diélectrique et un fort amortissement du résonateur pour une ionisation bien définie du gaz. La conductivité du gaz pour laquelle on constate une brusque variation de constante diélectrique et un maximum de l'amortissement est d'autant plus grande que la longueur d'onde est plus courte.

En faisant le produit du carré de la longueur d'onde par la puissance $\frac{3}{4}$ de l'intensité du courant qui mesure la conductivité du gaz lors de la variation brusque de constante diélectrique et de l'amortissement maximum, on constate que ce produit garde une valeur sensiblement constante; d'où, si l'on admet que la conductivité du gaz est proportionnelle au nombre N d'ions, on déduit que la variation brusque de constante diélectrique et le maximum d'amortissement se produisent pour un nombre d'ions dont la puissance $\frac{3}{4}$ est en raison inverse du carré de la longueur d'onde; ce qui se traduit par la condition

$$\lambda^2 N^{\frac{3}{4}} = \text{constante}.$$

4. Interprétation des expériences. Oscillations électroniques. Action du champ magnétique. — Les résultats des expériences s'interprètent facilement si l'on admet que les électrons et les ions du gaz ne sont pas entièrement libres, comme le supposent les théories d'Eccles et de Larmor, mais que, par suite de leurs actions mutuelles, des forces analogues à des forces élastiques tendent à les ramener vers leurs positions initiales moyennes, lorsqu'ils en ont été écartés par une force électrique extérieure.

L'équation du mouvement de l'électron dans un champ électrique Z est alors

$$m\frac{d^2\xi}{dt^2} + a\xi = eZ,$$

a étant une fonction du nombre d'électrons par centimètre cube. Si, pour tenir compte des chocs des électrons avec les molécules gazeuses, on ajoute une force visqueuse, l'équation devient

$$m\frac{d^2\xi}{dt^2} + 2r\frac{d\xi}{dt} + a\xi = eZ. \qquad (3)$$

Ces équations indiquent l'existence d'une période propre d'oscillation de pulsation

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{a}{m}}.$$

En mettant en évidence cette pulsation et en posant $\frac{r}{m} = \rho$, l'équation du mouvement dans un champ électrique d'intensité Z s'écrit

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} + 2\rho\frac{d\xi}{dt} + \omega_0^2\xi = \frac{e}{m}Z. \qquad (4)$$

Dans la théorie des diélectriques de Lorentz, pour expliquer l'existence de bandes d'absorption optiques, on admet l'existence de particules électrisées dont le mouvement est représenté par cette équation (4). S'il existe une période propre des électrons d'un gaz ionisé, on doit donc s'attendre à retrouver des résultats analogues à ceux que l'on obtient lorsqu'on étudie la propagation de la lumière dans un milieu dispersif et absorbant.

Des phénomènes de résonance se produiront dans les gaz lorsque la fréquence des oscillations du champ coïncidera avec la fréquence des oscillations propres des particules électrisées; de telles résonances fournissent une interprétation des résultats obtenus.

Lorsque l'ionisation est faible, la période d'oscillation propre des particules est très grande par rapport à la période du champ électrique; on se trouve alors loin de la résonance; l'oscillation forcée de ces particules a une petite amplitude et la variation apparente de la constante diélectrique est faible. Cette variation est une diminution, car les phases des oscillations des ions et des oscillations du

champ sont inverses. Le courant de convection $4\pi Ne\frac{d\xi}{dt}$ est constamment en opposition avec le courant de déplacement $\frac{K}{4\pi}\frac{dZ}{dt}$. Le gaz se comporte comme si sa constante diélectrique était diminuée.

En augmentant l'ionisation, on accroît les actions mutuelles entre les ions et on fait croître la fréquence de leurs oscillations propres qui finit par atteindre la fréquence des oscillations du champ et réalise la résonance. L'amplitude des oscillations électroniques augmente alors beaucoup et la variation de la constante diélectrique devient rapide. Lors du passage par la résonance, la phase des oscillations électroniques s'inverse d'autant plus brusquement que la résistance visqueuse qui s'oppose au mouvement des ions, et par suite la pression du gaz, est plus petite. Il en résulte une brusque augmentation de la constante diélectrique, car le courant de convection, qui était en opposition avec le courant de déplacement, devient en concordance de phase avec lui.

Au voisinage de la résonance, cette augmentation est grande à cause de la grande amplitude du mouvement des particules. Lorsqu'en augmentant encore l'ionisation du gaz on s'écarte de la résonance, l'augmentation de constante diélectrique devient plus faible. Lorsque le champ ne pénètre plus à l'intérieur du tube à cause de la grande conductibilité du gaz, le tube se comporte comme un cylindre métallique.

En résumé, l'existence de forces analogues à des forces élastiques dans un gaz ionisé explique donc parfaitement les résultats des expériences de l'auteur. Le gaz se comporte comme un diélectrique ayant une bande d'absorption pour la longueur d'onde de résonance.

Pour vérifier l'existence d'une période de résonance du gaz l'auteur a étudié l'action d'un champ magnétique sur les propriétés du gaz ionisé. On sait qu'une des conséquences de la théorie des diélectriques de Lorentz, qui admet l'existence de forces élastiques analogues à celles que l'auteur a été conduit à supposer, fut l'explication de l'effet Zeeman. L'auteur a repris ses expériences en disposant le gaz ionisé dans un champ magnétique constant, normal à la direction du champ électrique périodique. Il a ainsi constaté l'existence de deux périodes de résonance du gaz, l'une pour de plus grandes ionisations qu'en l'absence de champ, l'autre pour de plus petites auxquelles correspondent deux minima distincts de l'intensité du courant de résonance. Ce phénomène est tout à fait comparable au dédoublement d'une bande d'absorption optique dans un champ magnétique et son interprétation cinématique est tout à fait semblable.

L'analyse de ce phénomène, développée d'une manière analogue à celle de l'effet Zeeman, confirme qu'il existe bien une période de résonance des électrons dans un gaz ionisé, période due à l'existence d'une force élastique appliquée aux particules électrisées et elle montre, en outre, que les particules électrisées qui interviennent sont des électrons.

5. Origine de la période propre des électrons dans le gaz ionisé. — Dans un gaz ionisé homogène occupant un volume assez grand, il y a, par centimètre cube, N particules électrisées de chaque signe Si l'action ionisante ne se modifie pas, le gaz ionisé conservera un état d'équilibre statistique stable. On peut alors considérer les particules positives et les particules négatives comme formant deux réseaux de particules électrisées en équilibre statistique l'un par rapport à l'autre.

L'auteur montre tout d'abord qu'un champ électromagnétique sinusoïdal de haute fréquence a une influence négligeable sur le réseau des particules positives en comparaison de celle qu'il a sur le réseau des électrons En effet, la masse des particules positives d'hydrogène étant 1 800 fois plus grande que celle des électrons et les charges des deux espèces ayant les mêmes valeurs absolues, les déplacements provoqués par le champ électromagnétique seront d'amplitude 1 800 fois plus grande pour les électrons que pour les particules positives. Nous pourrons donc, pense l'auteur, considérer les particules positives comme formant un réseau non influencé par le champ électromagnétique, tandis que les particules négatives se déplaceront sous l'action du champ à l'intérieur de ce réseau.

Des expériences faites par l'auteur il résulte que, si l'on déplace les particules négatives contenues dans un certain volume d'une distance ξ, celles-ci tendent à revenir à leur position d'équilibre statistique sous l'action d'une force élastique $a\,\xi$ telle que

$$a = m\omega_0^2 = m \times 64 \times 10^{10} N^{\frac{3}{4}}.$$

6. Application a l'étude de la propagation des ondes radioélectriques dans la haute atmosphère. — Comme Eccles l'a montré le premier, il est hors de doute que les propriétés des gaz ionisés interviennent d'une façon essentielle pour assurer la propagation à longue distance des signaux radiotélégraphiques sur ondes courtes, les énormes portées actuellement obtenues ne pouvant être expliquées par la seule conductibilité du sol. Jusqu'ici on regardait, à la suite d'Eccles, les électrons de la haute atmosphère comme entièrement libres. L'auteur montre que l'existence d'une période de résonance des électrons, à cause de la très grande variation d'indice du gaz ionisé au voisinage de la résonance, rend compte, beaucoup mieux que l'ancienne hypothèse, d'un grand nombre de faits observés.

Il semble assez naturel de supposer que la haute atmosphère au-dessus d'une centaine de kilomètres contient surtout de l'hydrogène et de l'hélium ionisés par la lumière solaire et par les électrons émis par le Soleil, l'ionisation étant plus intense et s'étendant plus bas le jour que la nuit, l'été que l'hiver.

Or, à chaque longueur d'onde correspond une ionisation pour laquelle les électrons sont en résonance et celle-ci est d'autant plus faible que la longueur d'onde est plus grande. Pour des ondes suffisamment longues il y a donc toujours une couche, d'autant plus basse que l'onde est plus longue, dans laquelle les oscillations électroniques ont la période des oscillations du champ. Au voisinage de cette couche, la variation d'indice avec l'altitude est très rapide et provoque la réflexion des ondes, réflexion d'autant plus complète que l'amplitude des oscillations électroniques est plus grande. Et comme ce sont les chocs des électrons sur les molécules qui limitent l'amplitude de résonance, on peut prévoir un amortissement d'autant plus faible et une réflexion d'autant meilleure que la pression dans la couche réfléchissante est plus faible. Comme à ionisation égale la réflexion se fait à une altitude d'autant plus grande que l'onde est plus courte, on en déduit, ce qui est conforme aux observations, que des réflexions dans l'atmosphère interviendront surtout lors de la propagation des ondes courtes, pourvu toutefois que leur longueur soit encore suffisante pour que cette couche existe.

Pour les longueurs d'onde inférieures à 100 m, la propagation le long du sol est très mauvaise et ce sont les réflexions sur la haute atmosphère qui assurent seules la réception des signaux radiotélégraphiques.

Durant la nuit, les signaux sont reçus à très grandes distances, mais on observe à petite distance du poste émetteur des zones de silence, qui s'étendent de plus en plus à mesure que l'onde devient plus courte. Pour ces courtes longueurs d'onde, l'ionisation à toute altitude est trop faible pour qu'il y ait résonance; les ondes peuvent traverser la haute atmosphère lorsqu'elles se propagent dans des directions peu inclinées sur la verticale. Les rayons arrivant sous une incidence plus grande, par un phénomène analogue au mirage, sont, au contraire, réfléchis totalement. Il existe aux limites de la zone de silence une zone de réception irrégulière, puis la réception à très longue distance devient satisfaisante.

Durant le jour, il peut au contraire exister pour les mêmes ondes une couche en résonance à très haute altitude sur laquelle se produit une réflexion régulière d'autant meilleure que la couche est plus haute, c'est-à-dire que les ondes sont plus courtes; les zones de silence disparaissent.

Pour des ondes de quelques dizaines de mètres de longueur, la propagation de jour reste bonne, tandis que la propagation de nuit devient très mauvaise, car la zone de silence s'étend la nuit extrêmement loin et la plus grande partie du rayonnement de l'antenne d'émission s'échappe de l'atmosphère terrestre.

Ces conclusions s'accordent bien avec les observations qui montrent qu'au-dessus d'une longueur d'onde de 30 m, la propagation à longue distance est meilleure la nuit que le jour.

7. Potentiel explosif en haute fréquence dans un gaz raréfié. — Il est facile de concevoir que l'existence d'une période de résonance, dans un gaz ionisé, peut avoir une influence considérable sur les phénomènes de décharge en haute fréquence dans les tubes à gaz raréfié. Lorsqu'on élève la différence de potentiel entre les électrodes et avant que passe la décharge lumineuse, le gaz est déjà ionisé. L'ionisation correspondant à la résonance est d'autant plus faible que la fréquence excitatrice est elle-même plus petite. Pour des fréquences plus basses que celles utilisées au cours des expériences précédentes, la résonance, peut être obtenue pour les ionisations faibles qui se produisent dans le tube avant la décharge lumineuse. Ces résonances, en augmentant considérablement la vitesse des particules, produiront pour certaines fréquences de brusques variations du potentiel explosif. Lorsque la décharge est amorcée et l'ionisation, plus grande, les phénomènes de résonance auront une influence sur le potentiel d'entretien de la décharge et sur le potentiel d'extinction.

Aussi l'auteur a-t-il étudié, pour diverses longueurs d'un tube à gaz raréfié, diverses pressions et diverses fréquences, les variations du potentiel explosif et du potentiel d'extinction.

Dans le tube en relation d'une part avec une pompe à vide et avec une jauge de Dunoyer, on pouvait introduire, après avoir fait le vide, de l'hydrogène au moyen d'un osmorégulateur Villard ou de l'oxygène avec un petit ballon contenant du permanganate de potassium que l'on chauffait. Les tubes, de 3 cm de diamètre intérieur, étaient rodés aux deux extrémités et fermés par des plaques de verre carrées de 4,8 cm de côté sur la face extérieure desquelles étaient collées des feuilles d'étain servant d'électrode et reliées par un fil à un résonateur accordé sur la fréquence utilisée; ce résonateur était couplé à un oscillateur à lampes. Un électromètre branché entre ces feuilles permettait de mesurer la différence de potentiel efficace appliquée au tube.

Le tube étant isolé de la pompe par la fermeture d'un robinet, on cherche à faire passer la décharge dans le tube en chauffant progressivement et lentement les lampes de l'oscillateur tout en suivant sur l'électromètre l'augmentation de la différence de potentiel. Lorsque le tube à décharge s'allume, on observe une chute brusque de l'électromètre. La déviation maximum atteinte fournit la valeur du potentiel explosif. Puis ayant diminué le potentiel entre électrodes, on note le potentiel pour lequel le tube s'éteint. Il convient de répéter plusieurs fois l'expérience, car le premier passage de la décharge est généralement un peu plus difficile; le potentiel explosif se fixe ensuite à une valeur bien constante. Aussitôt après la dernière lecture on fait, à la jauge, la mesure de la pression, puis on passe à une pression plus élevée en faisant rentrer du gaz dans le tube.

L'auteur a étudié comment, pour diverses distances entre électrodes, variaient le potentiel explosif et le potentiel d'extinction en fonction de la fréquence et de la pression. Il a ainsi observé que : 1° pour des fréquences inférieures à celles qui correspondent à des longueurs d'onde de 200 m environ, le potentiel explosif croît avec la fréquence;

2° Pour les ondes de longueur comprise entre 200 et 30 m, il est une pression pour laquelle le potentiel explosif décroît très brusquement. Dans cet intervalle de fréquence, la loi de variation du potentiel explosif avec la pression dépend dans de larges limites de la longueur du tube et de la nature du gaz;

3° Pour les ondes courtes de longueur inférieure à 30 m, les phénomènes de résonance étudiés dans la première partie de ce travail interviennent pour modifier le potentiel explosif et permettre un passage facile de la décharge à des pressions si faibles qu'il serait impossible à basse fréquence de faire passer la décharge dans le tube.

L'auteur a fourni une interprétation simple de ces résultats. La partie ascendante des courbes représentant le potentiel explosif en fonction de la longueur d'onde à pression constante pour les ondes longues correspond à la disparition de la chute cathodique de tension lorsque l'élongation des particules positives devient très petite. La chute rapide du potentiel explosif correspond à la coïncidence entre la période des oscillations du champ et la durée de parcours des charges négatives entre électrodes. La très faible valeur du potentiel explosif, pour des ondes de l'ordre de 10 m et les faibles pressions, est expliquée par une résonance sur la période propre des électrons. La nouvelle augmentation du potentiel explosif pour les ondes plus courtes se produit lorsque cette résonance est dépassée. Les variations sont beaucoup plus considérables aux faibles pressions qu'aux grandes à cause du plus faible amortissement des mouvements électroniques. — A. B.

Quelques recherches sur la vitesse du son aux fréquences ultrasonores, obtenues au moyen d'oscillateurs en quartz (1).

1. Introduction. — L'objet de ce travail était d'étendre les mesures de vitesse du son dans plusieurs gaz usuels, à des fréquences comprises entre 4×10^4 et 2×10^6 p : s Les détermi-

(1) C.-D. Reid. *The physical Review*, 1er avril 1930, t. xxxv (2e série), p. 814-831, 4 000 mots, 12 figures.

nations effectuées portaient sur la longueur d'onde du son émis, la fréquence de ce son, la température du gaz et enfin la constitution du milieu dans lequel les ondes se propagent.

Le son était produit au moyen de cristaux de quartz, dont l'emploi se généralise de plus en plus comme dispositif de réglage des fréquences. Si l'on emploie de tels cristaux en liaison avec un circuit à lampe approprié, le circuit est le siège d'oscillations électriques dont la fréquence est déterminée par l'une des périodes mécaniques naturelles de vibration du cristal, et, simultanément, le mouvement vibratoire dont le cristal est le siège produit des ondes longitudinales de même fréquence dans le milieu qui l'entoure.

2. Mesure des longueurs d'onde. — Pour mesurer la longueur d'onde d'un tel mouvemenl vibratoire se propageant dans le gaz, on possède une méthode très pratique. Pierce a, en effet, trouvé que, si l'on déplace un réflecteur solide suivant la normale commune à la face du cristal émettant le son et au réflecteur, de façon que le son soit réfléchi à la face cristalline qui l'émet, on voit apparaître de petits changements d'intensité du courant de plaque dans le circuit auquel le cristal appartient. Ce courant passe par une série de maxima et de minima pendant le déplacement continu du réflecteur. L'espace parcouru par le réflecteur entre deux maxima successifs représente la demi-longueur d'onde du son émis. Comme ce changement est petit par rapport à l'intensité du courant de plaque, il peut être décelé plus aisément au moyen d'un microampèremètre disposé de façon à demeurer au zéro lorsque le courant de plaque possède sa valeur normale, par le moyen d'une batterie locale et d'une résistance variable appropriée. Le dispositif ainsi réalisé permettait de faire usage, pour déterminer la longueur d'onde, de variations de courants pouvant descendre à quatre microampères.

La position du réflecteur était obtenue au moyen d'une vis micrométrique de pas égal à 0,5 mm et dont la tête était divisée en 100 parties égales, permettant donc de déceler un déplacement de 5 microns.

3. Mesure et réglage de la fréquence. — La fréquence de la source sonore était mesurée par comparaison avec un cristal étalon maintenu dans une position fixe pendant chaque série de mesures. Cet étalon avait été calibré directement par rapport à l'horloge du Harvard Observatory au moyen de la méthode des coïncidences de Pierce. Sa fréquence était connue à toute température et sa correction de température était également connue. La valeur de cette fréquence était voisine de 421 000 p : s. A toute température, sa fréquence était connue à $\frac{3}{400\,000}$ près.

Tous les cristaux employés dans ce travail avaient été taillés par Pierce et réglés par lui à une fréquence telle que l'un des harmoniques puisse produire des battements audibles avec l'étalon. La fréquence de ces derniers était mesurée au moyen d'un audiofréquencemètre et pouvait être déterminée à deux ou trois périodes par seconde près, ce qui donne une précision supérieure au cent millième pour la fréquence de la source. L'harmonique était identifié au moyen d'un ondemètre.

Le réglage de la fréquence ne présentait aucune difficulté, puisque les cristaux une fois mis en vibration continuent à vibrer indéfiniment à fréquence constante.

4. Mesure et réglage de la température. — Pour obtenir une précision du dix millième ou supérieure, la température devait être connue à 0,05°C près. Elle était mesurée au moyen d'un thermomètre à mercure divisé directement en dixièmes de degrés, permettant des lectures à 0,02°C près. Ce thermomètre était placé dans une longueur de 10 cm de la colonne d'air en vibration, et à la même hauteur que le cristal, afin qu'il ne s'introduise pas d'erreur du fait de quelque gradient vertical de la température. Ce thermomètre avait été au préalable soigneusement comparé avec un thermomètre étalon.

Afin de maintenir la température aussi constante que possible, le cristal était placé dans une pièce séparée de l'opérateur, située au-dessous du niveau du sol, et ne comportant ni fenêtre ni système de chauffage. Durant une suite de mesures, soit une demi-heure, la lecture au thermomètre changeait rarement d'une façon perceptible. L'observation du thermomètre se faisait au moyen d'un viseur à partir de la salle de l'opérateur.

5. Mesure de l'influence de l'humidité. — Pierce avait conclu de ses recherches que les variations d'état hygrométrique ne produisent que peu d'effet sur la vitesse du son, aux fréquences étudiées. L'auteur s'est proposé de vérifier ce fait. Dans ce but, il a fait usage des agents desséchants connus, et de divers sels ou solutions dont la pression de vapeur était exactement connue. L'air étudié était toujours soigneusement débarrassé de gaz carbonique.

6. Résultats. — L'auteur a trouvé que la vitesse du son varie avec la distance à la source, et qu'elle décroît lorsque la distance croît. Ce fait était particulièrement marqué à la fréquence de 42 000 p : s.

A la distance de 45 cm, toutes les valeurs obtenues, sauf celles correspondant à une fréquence plus petite que 60 000 p : s sont, à trois dix millièmes près, égales à 331,60 m : s.

L'effet de l'état hygrométrique sur la vitesse du son s'exprime par

$$V_e = V_0 + 0{,}14\,e,$$

où V_0 est la vitesse du son dans l'air sec à 20°C, et V_e la vitesse du son dans un air humide d'état hygrométrique e. — L. B.

Le mouvement d'ions positifs lents dans les gaz (1).

1. Généralités. — Quand un faisceau d'ions positifs se meut à travers une colonne gazeuse, il y a en général un affaiblissement du faisceau, qui peut être dû à diverses sortes d'actions mutuelles entre les ions et les molécules du gaz. La neutralisation des ions, soit par capture d'un électron libre ou par suite de l'ionisation d'une molécule du gaz, la diffusion, ou une combinaison de ces effets contribuent à diminuer l'intensité du faisceau. Il faut ajouter qu'un retard des ions peut être pris pour une absorption, si l'on n'use pas de précautions spéciales au cours des mesures. L'absorption du faisceau d'ions s'exprime habituellement par la relation

$$N = N_0 e^{-\frac{xp}{760\,L}}, \qquad (1)$$

N étant l'intensité du faisceau après parcours de la distance x dans le gaz à la pression p; N_0, l'intensité du faisceau incident; L, le coefficient d'absorption. La plupart des

(1) J.-J. Thomson. *The physical Review*, 15 mai 1930, t. XXXV (2e série), p. 1196-1216, 4 000 mots, 15 figures.

expériences sur l'absorption des ions positifs ont fourni des valeurs pour ce dernier coefficient.

Dempster a étudié le mouvement des ions hydrogène et des ions hélium dans l'hélium au moyen de son appareil à rayons positifs et il a trouvé que des protons animés de vitesses correspondant à des chutes de potentiel de 14 à 900 v pouvaient traverser de nombreux atomes d'hélium, sans neutralisation, et avec de légers changements de vitesse, en grandeur et en direction, tandis que les ions hélium de 900 v sont absorbés dans l'hélium beaucoup plus facilement et ne manifestent un libre parcours moyen que légèrement supérieur à la valeur indiquée par la théorie cinétique.

Durbin, puis Ramsauer et Beck ont étudié un peu plus tard les ions lents des métaux alcalins dans divers gaz et ils ont trouvé, dans la plupart des cas, des libres parcours anormalement grands, allant jusqu'à 10 fois la valeur assignée par la théorie cinétique.

Kennard modifia la méthode des précédents auteurs et, en mesurant les ions de diverses vitesses ayant traversé une colonne gazeuse, il fut à même de déceler un changement de vitesse et un affaiblissement dû à d'autres causes. Il trouva que pour des ions Cs^+ de 90 v dans l'hydrogène il y a une diminution de vitesse par chocs équivalente à 1,3 v, mais pas d'indices de diffusion ou de neutralisation, pour des pressions allant jusqu'à 10 baryes. Un ralentissement était aussi observé pour des ions Cs^+ de 35 et de 90 v à la fois dans l'hydrogène et dans l'hélium, seulement avec un léger affaiblissement du faisceau dû à d'autres causes. Pour Cs^+ dans l'argon, l'on n'a pas observé de ralentissement, mais il y eut une rapide absorption du faisceau à pression croissante, fait que Kennard interpréta comme le résultat d'une neutralisation.

Enfin, Cox a montré récemment, à la suite d'expériences sur les ions Li^+ dans la vapeur de mercure, que pour les combinaisons ions-gaz qui ne manifestent pas de changement déterminé de la vitesse de l'ion, la principale cause de l'absorption est la diffusion. Les vitesses étaient équivalentes à des chutes de potentiel variant de 18 à 300 v. Pour les ions compris dans un domaine de vitesses plus élevées — équivalentes à des chutes de potentiel comprises entre 10000 et 50000 v — il y a des indices de diffusion, mais les pertes de vitesse sont inférieures à 1/200 en valeur relative.

Ainsi, il apparaît que le problème de l'absorption des ions positifs est dans son ensemble d'une grande complexité et qu'il dépend non seulement des combinaisons gaz-ions, mais de la vitesse des ions, de la pression du gaz, de l'appareil et de la méthode employés et autres variables expérimentales. Pour des ions lourds traversant des gaz légers à vitesse modérée, l'effet prédominant semble être un ralentissement du faisceau d'ions, tandis que pour un ion léger dans un gaz lourd, la principale cause de l'absorption est la diffusion. Dans les cas intermédiaires, il y aura naturellement une combinaison des deux effets.

Le but des expériences dont il est question dans le mémoire qui nous occupe était : 1° de faire une étude plus complète du mouvement des ions Cs^+ dans l'hydrogène et dans l'hélium, particulièrement dans la région des faibles vitesses; 2° d'étudier le phénomène d'absorption d'un ion léger dans un gaz léger, tel que l'ion Li^+ dans l'hélium; et aussi d'étudier éventuellement comment la vitesse influe sur cette absorption.

2. Les ions Cs^+ dans l'hélium. — Les ions Cs^+ étudiés ont des vitesses comprises entre des valeurs correspondant à 3,5 et 600 v. Pour des pressions du gaz inférieures à 13 baryes, on ne trouve pas d'absorption des ions. Pour les ions de vitesse élevée, cette absence d'absorption persiste même pour des pressions de 65 baryes. Dans tous les cas cependant, les ions sont retardés en traversant le gaz. Le retard se montre proportionnel à la pression. La perte relative d'énergie varie entre 0,115 pour les ions de 400 v et 0,55 pour les ions de 3,5 v.

L'auteur donne ensuite une interprétation de l'absence de diffusion et de la perte de vitesse sur la base des chocs élastiques entre ions et molécules. Il montre qu'il n'y a pas à attendre d'absorption des ions Cs^+ jusqu'à ce que la pression soit assez élevée pour donner naissance à une diffusion multiple.

Les données sur la perte de vitesse fournissent pour le rayon de l'ion Cs^+ les valeurs 1,78 Å dans l'hélium et 3,09 Å dans l'hydrogène. Le ralentissement des ions fournit une explication de la grande absorption (apparente) de l'ion Cs^+ dans l'hélium, observée par Ramsauer et Beck. Des considérations de probabilité montrent que pour des vitesses croissantes, la perte d'énergie par choc observée dans les présentes expériences est inférieure à celle à laquelle on doit s'attendre sur la base de chocs élastiques.

3. Absorption des ions Li^+. — Cette absorption a été étudiée par trois méthodes, pour des vitesses correspondant à des valeurs de 20 à 900 v. Les coefficients d'absorption C, représentant la section droite absorbante effective, ont été déterminés par deux méthodes. La dépendance générale de C et de la vitesse des ions est la même pour les deux types d'appareils employés, mais les valeurs de C montrent une dépendance vis-à-vis des dimensions de la chambre à absorption. D'autre part, on n'a pas trouvé de retard général des ions Li^+. L'auteur conclut que l'on ne doit pas attribuer de signification absolue aux valeurs des rayons atomiques déterminés par des mesures de cette espèce. — L. B.

L'effet Thomson dans les cristaux de zinc (1).

Il y a environ deux ans, l'auteur détermina directement les valeurs du coefficient de Thomson σ pour quelques cristaux isolés de zinc d'orientations voisines de 0° et 90°, (l'orientation, pour un cristal hexagonal, est l'angle que fait l'axe géométrique de l'échantillon avec son axe cristallographique principal). Il se proposait alors d'étudier les variations de σ avec la température. Après ce travail, l'auteur fit quelques déterminations de σ à une seule température (50°C) sur un groupe de cristaux diversement orientés, surtout en vue de contrôler la relation de symétrie de Voigt-Thomson relative à σ; mais, pour diverses raisons, les résultats obtenus ne furent pas très cohérents. C'est pourquoi l'auteur reprit les mesures dans des conditions mieux définies, et l'objet du présent mémoire est d'exposer le détail de ces dernières expériences et d'en dégager les résultats.

La méthode de mesure, empruntée à Nettleton, est la suivante. Les deux extrémités de l'échantillon, qui a la forme d'un court segment de fil, sont portées à des températures constantes, mais différentes. En même temps, on fait passer un courant I_1 à travers l'échantillon, dans le sens voulu pour qu'il se produise un dégagement de chaleur. Si le sens du courant est inversé, la température au milieu de l'échantillon va s'abaisser légèrement. Mais, si, en même temps qu'on inverse le courant, on porte son intensité à une valeur plus élevée I_2, le supplément de chaleur dû à l'effet Joule obtenu pourra compenser l'absorption de chaleur dû à

(1) L.-A. Ware. *The physical Review*, 15 avril 1930, t. xxxv (2e série), p. 989-997; 3 000 mots, 5 figures.

l'effet Thomson, et la température ne changera pas. L'appareil est établi de façon à mesurer directement la différence entre I_1 et I_2 et à déceler avec un bolomètre un changement de température du milieu du cristal. L'état de changement nul pourra donc être déterminé. Le coefficient de Thomson s'exprime alors, ainsi que l'a montré Nettleton, par l'équation $\sigma = \frac{I_1 R}{J \Delta t}$, R étant la résistance du cristal, J, l'équivalent mécanique de la calorie, Δt, la différence de température entre les extrémités de l'échantillon.

Les mesures ont porté sur un groupe de cristaux de zinc en forme de fils, dont les orientations sont distribuées uniformément suivant toutes les directions possibles. On a opéré à deux températures, soit 49,5°C et 125°C. Les valeurs de σ ainsi obtenues semblent obéir à la relation de symétrie de Voigt-Thomson, bien qu'à la température la plus élevée l'accord soit moins bon, probablement par suite de l'accroissement des erreurs expérimentales. Les principales valeurs obtenues, et exprimées en calories par coulomb et par degré sont les suivantes :

à 49,5°C $\sigma = 0{,}98 \times 10^{-6}$ (orientation perpendiculaire)
$\sigma = 0{,}38 \times 10^{-6}$ (orientation parallèle)
à 125°C $\sigma = 2{,}09 \times 10^{-6}$ (orientation perpendiculaire)
$\sigma = 1{,}08 \times 10^{-6}$ (orientation parallèle).

Les valeurs à 49,5°C sont assez en accord avec les valeurs calculées pour le zinc polycristallin au moyen de la théorie de la conduction due à Sommerfeld ($0{,}32 \times 10^{-6}$ calories par coulomb et par degré), et trouvées expérimentalement par Borelius ($0{,}88 \times 10^{-6}$ calories par coulomb et par degré). L'accroissement de σ avec la température est plus grand qu'il n'avait été indiqué antérieurement pour le zinc polycristallin; mais il est en accord approximatif avec quelques précédentes déterminations de l'auteur. — L. B.

L'effet Barkhausen : Détermination de la grandeur moyenne des discontinuités d'aimantation (1).

1. Les discontinuités d'aimantation. — C'est un fait bien établi que, lorsqu'on applique un champ magnétique continument variable à un corps ferromagnétique, l'induction ne varie pas de façon régulière, mais par sauts brusques, ou discontinuités. On peut interpréter le fait en supposant que le corps est formé de très petites parties, ou éléments, dont chacune est toujours aimantée à saturation, et que, durant l'aimantation de l'échantillon, les axes magnétiques de la moitié de ces éléments se renversent l'un après l'autre. Le volume v de chaque élément peut, dès lors, être calculé à partir de la grandeur de la discontinuité correspondante. Naturellement, il se peut fort bien que le changement de moment magnétique d'un élément soit moins important qu'un renversement complet de tous les aimants atomiques; dans ce cas, la valeur de v calculée sera proportionnellement plus petite que le volume réel de l'élément. Toutefois il est plus simple, sur les portions de la courbe d'hystérésis où la pente est la plus accentuée, d'interpréter v de la première façon.

2. Détermination de la grandeur moyenne des discontinuités. — Le but des auteurs est de déterminer, pour le plus grand nombre possible de corps et pour les parties les plus diverses des courbes d'aimantation, les dimensions moyennes de ces éléments. Ils se proposent surtout de comparer ces dimensions avec celles des cristaux, d'une part, et avec celles du plus petit groupe d'atomes susceptibles d'être aimantés, d'autre part Bozorth a déjà montré pour diverses substances que, sur les portions les plus inclinées de la courbe d'hystérésis, presque toutes les discontinuités correspondent à des éléments de volume supérieur à 10^{-13} cm³ et comprenant plus de 10^{10} atomes.

Dans le présent travail, les auteurs ont obtenu des données répondant à ces questions en déterminant la grandeur moyenne des discontinuités sur divers segments de la courbe d'hystérésis de plusieurs corps : fer, nickel, permalloy recuits ou écrouis, et cristaux isolés de fer. Les mesures ont porté généralement sur des fils de 1 mm de diamètre.

Les dimensions les plus grandes des éléments magnétiques se présentent sur les parties les plus inclinées de la courbe d'hystérésis. Le plus grand volume moyen est sensiblement le même pour toutes les substances ferromagnétiques étudiées, les valeurs extrêmes étant $1{,}2 \times 10^{-9}$ cm³ pour le fer recuit et 45×10^{-9} pour le permalloy de titre en nickel égal à 0,5. Ceci montre que les grandeurs des éléments sont sensiblement indépendantes de celles des cristaux, ou de la nature des cristaux.

Les auteurs passent ensuite à la critique des précédents travaux sur la grandeur de la région de cohérence, c'est-à-dire de la région où se trouve confiné le changement d'aimantation. Bien que l'effet d'une seule discontinuité d'aimantation puisse être décelé jusqu'à une distance de 10 cm de sa source, en raison des courants de Foucault induits, les faits d'expérience concordent avec l'hypothèse d'un changement permanent d'aimantation confiné au volume par rapport auquel la grandeur de la discontinuité est mesurée ainsi qu'il a été indiqué ci-dessus, c'est-à-dire toujours inférieur à une valeur de 10^{-5} cm³. — L. B.

(1) R.-M. Bozorth et J.-F. Dillinger. *The physical Review*, 1er avril 1930, t. xxxv (2e série), p 733-752, 4 000 mots, 26 figures.

Les propriétés photoélectriques et thermoioniques des filaments de verre recouverts de platine (1).

Dans cet article l'auteur discute des propriétés photoélectriques et thermoioniques des filaments de verre recouverts de platine par pulvérisation cathodique, en s'attachant à préciser l'effet de la température et celui du dépôt du potassium produit par électrolyse du verre. Quand l'électrolyse a lieu dans le sens qui éloigne les ions K^+ de la surface platinée, le seuil photoélectrique est indépendant de la température jusqu'à 450°C et correspond à une valeur voisine de 2 720 Å. Lorsque l'électrolyse porte les ions K^+ vers la surface platinée, le seuil demeure à 2 720 Å jusqu'à 260°C, mais aux températures plus élevées il se déplace vers le rouge à température croissante, atteignant un maximum d'environ 4 300 Å à 410°C. L'électrolyse produit des effets identiques sur l'émissivité photoélectrique et thermoionique pour les électrons; l'effet sur l'émission des ions positifs est similaire, sauf dans le cas où un maximum particulier d'émissivité se produit pour un potentiel spécifique d'électrolyse. Les radiations ultraviolettes n'ont pas d'effet sur l'émission thermoionique par ce type de filament des électrons ou des ions positifs. — L. B.

(1) A.-K. Brewer *The physical Review*, 1er juin 1930, t. xxxv (2e série), p. 1 360-1 366, 2 000 mots, 4 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Réseaux maillés souterrains à basse tension sans protection spéciale contre les surintensités de courant

L'auteur rend compte, dans l'article qui suit, des essais effectués par le docteur Krohne, à la plate-forme d'essais de la Berliner Elektricitätswerke-Aktien-Gesellschaft, en vue de vérifier la possibilité de mettre en service des réseaux souterrains à basse tension sans appareils spéciaux de protection contre les surintensités de courant. Cette protection serait assurée par la combustion même du câble au point défectueux et par l'élimination en quelque sorte automatique de la région endommagée qui en résulterait. Ces essais ont montré que cette solution déjà entrée dans la pratique aux Etats-Unis peut être utilisée en Europe malgré la différence qui existe dans les méthodes de pose des câbles et les tensions de service en usage sur les deux continents. La Berliner Elektricitätswerke-Aktien-Gesellschaft, à la suite des résultats intéressants qu'ont donnés ces essais, a décidé de mettre en service, dès l'été 1930, un réseau maillé sans appareils de protection contre les surintensités de courant.

I. **Introduction**. — Les avantages de réseaux maillés à basse tension sont bien connus, à savoir sécurité plus grande, l'alimentation du récepteur étant assurée au moins par deux circuits différents, tension constante et réduction de la charge. L'inconvénient le plus important que présentent ces réseaux consiste dans le fait que, s'il se produit un défaut, l'énergie atteint le point défectueux par plusieurs lignes, la réactance du système pendant un court-circuit reste très petite et le courant peut atteindre des valeurs de l'ordre de 30 000 A sous 380/220 V. Pour parer à cet inconvénient il faut prévoir dans tous les nœuds du réseau des disjoncteurs automatiques ou des fusibles, qui peuvent supporter ces intensités de courant élevées et en même temps assurer une sélectivité absolue. Des disjoncteurs qui remplissent ces conditions existent sur le marché, mais ils sont très coûteux et encombrants. Les fusibles construits jusqu'à présent ne sont pas d'un fonctionnement sélectif et ne possèdent pas la puissance de rupture nécessaire.

La troisième solution, la plus élégante et la plus simple, pour éliminer un défaut, est d'employer le câble lui-même comme disjoncteur, c'est-à-dire de laisser libre cours au défaut. Si le temps jusqu'à ce que le défaut soit éliminé n'est pas trop grand et ne provoque pas des répercussions sur les tronçons sains on peut concidérer cette solution dans la pratique comme la plus sélective et la plus économique. Cette méthode a été adoptée aux Etats-Unis et l'on a obtenu partiellement (sauf à Philadelphie) des résultats satisfaisants. Une différence très grande existe cependant entre les tensions de service et les méthodes de pose de câbles en Amérique et en Europe. Pour élucider ce problème, M. Krohne, de la Berliner Elektricitätswerke-Aktien-Gesellschaft, avec le concours de plusieurs câbleries allemandes, a effectué des nombreux essais dont les résultats font l'objet du présent article .

II. **Spécification des câbles essayés et méthodes de pose**. — Les câbles essayés sont représentés sur la figure 1 ; leur section est de $3 \times 95/50$ mm². Le câble normal armé est celui employé sur le réseau de Berlin. Le câble spécial est constitué de trois conducteurs comportant chacun une gaine de plomb avec des distances élevées entre phases et pourvu d'un isolant qui produit, lors du défaut, de l'anhydride carbonique

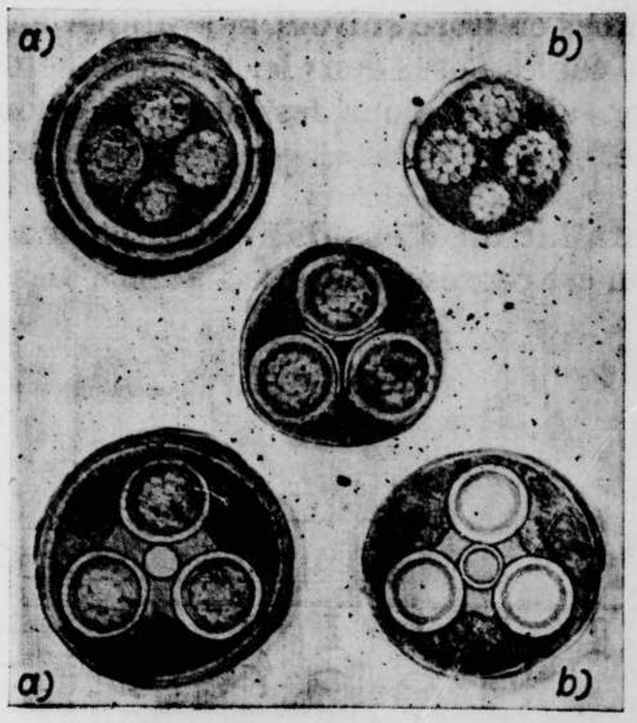


Fig. 1. — Coupe des câbles essayés : à la partie supérieure, a, câble normal armé; b, câble normal sans armature; au milieu, câble spécial, fil neutre composé de trois rubans en cuivre; à la partie inférieure, a, câble spécial avec conducteurs en toron métallique; b, câble spécial avec conducteurs massifs.

et provoque l'extinction de l'arc. La forme triangulaire des câbles spéciaux présente l'avantage de diminuer le volume de l'isolant et, de ce fait, la quantité des gaz inflammables qui se développent lors de la formation

de l'arc provenant du défaut. En outre, des câbles normaux à un seul conducteur ont également été essayés.

Les méthodes de pose de câbles qui ont été envisagées sont celles représentées sur la figure 2 : en a est figurée la solution employée dans la proximité des postes de transformation ; en b, les câbles posés dans les tubes en fer suivant la pratique américaine, et suivant la solution adoptée à Berlin au-dessous des ponts ; en c, il s'agit de câbles posés directement dans une tranchée à 70 cm de profondeur et recouverts de pierres suivant

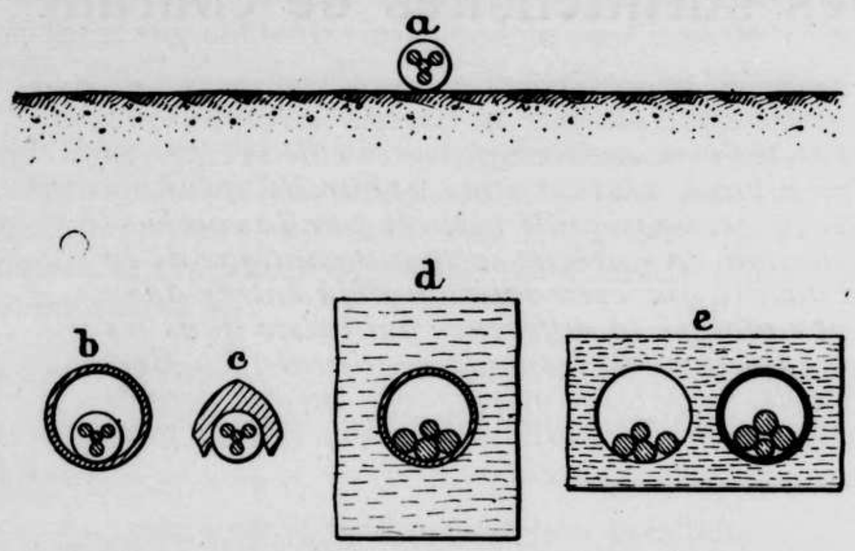


Fig. 2. — Schéma des méthodes de pose des câbles : a, directement sur le sol; b, dans un conduit en fer; c, directement dans une tranchée, à 70 cm de profondeur, recouverte de pierre ; solution de la Berliner Elektricitätswerke-Aktien-Gesellschaft; d, dans des tubes en fibre (pratique américaine); e, dans des conduites en béton, suivant la solution adoptée pour les câbles téléphoniques en Allemagne.

la pratique en usage à Berlin ; en d, de câbles posés dans des tubes en fibre suivant la pratique américaine, et en e, de câbles posés dans les tubes en béton suivant la solution adoptée pour les câbles téléphoniques en Allemagne.

III. **Installation d'essais.** — Le schéma de cette installation est représenté sur la figure 3. Des tronçons

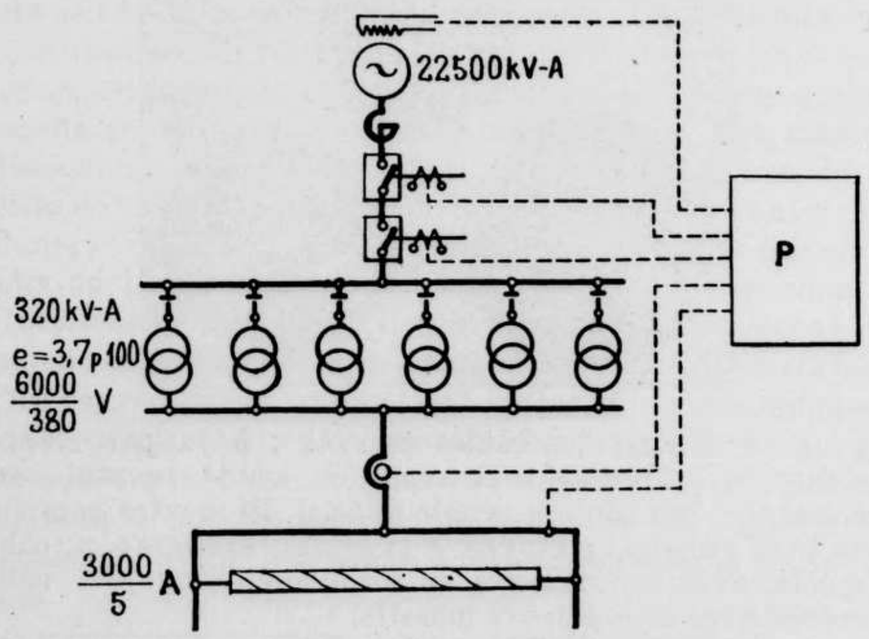


Fig. 3. — Schéma de l'installation d'essai : P, pupitre de commande.

de câble de 10 m de longueur ont été connectés par deux extrémités aux barres générales. La source d'énergie était constituée par six transformateurs de 6 000/380 v et d'une puissance unitaire de 320 kv-a. Le courant maximum a atteint près de 30 000 a en valeur efficace ; il était réglé par modification du couplage des transformateurs. La tension a été mesurée directement et le courant par l'intermédiaire d'un transformateur de courant au rapport de 3 000/5 a. Les essais ont été effectués avec des intensités de courant comprises entre 1 500 et 30 000 a, car, dans les réseaux maillés, il faut tenir compte de ce que l'intensité du courant de court-circuit dépend beaucoup de l'endroit où se trouve le défaut. Sous l'expression « intensité du courant » on comprend les valeurs efficaces du courant permanent de court-circuit pendant la première demi-onde.

IV. **Nature des défauts.** — On a procédé à l'étude des courts-circuits diphasés et triphasés, des mises à la terre d'une et de deux phases, aussi bien que des mises à la terre doubles, distantes d'au moins un mètre l'une de l'autre. Pour constituer un court-circuit, l'isolant du câble étant enlevé comme le montre la figure 4 supérieure, les conducteurs étaient mis en court-circuit par des fils métalliques, entourés du ruban isolant et la gaine en plomb, soudée. Une autre méthode consistait à

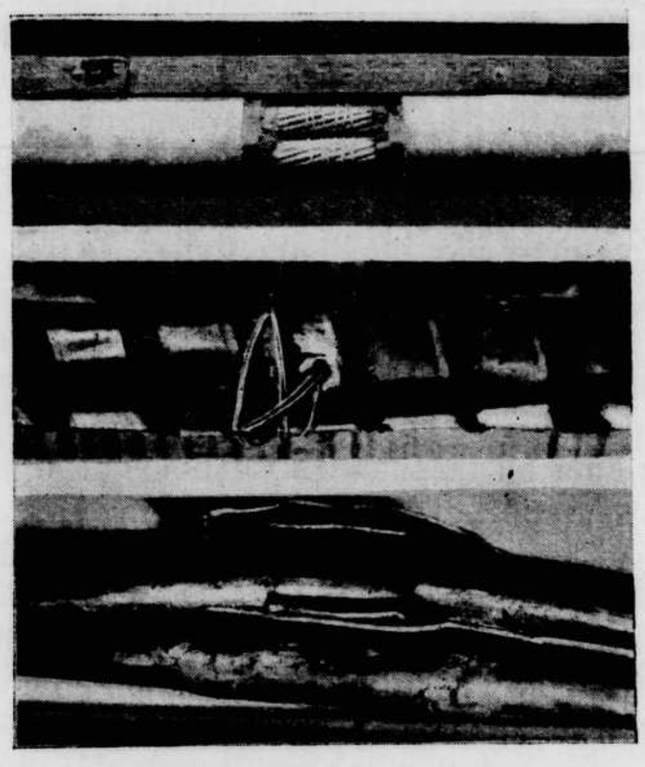


Fig. 4. — Vues des procédés employés pour constituer un court-circuit (figures supérieure et médiane) et une mise à la terre (fig. inférieure).

percer le câble et à mettre en court-circuit les conducteurs par des fils métalliques (fig. 4 médiane).

Les deux procédés ont conduit sensiblement anx mêmes résultats.

Les mises à la terre accidentelles ont été préparées de la manière suivante : le conducteur dénudé était entouré d'un ruban en plomb qui était en contact avec un autre ruban, soudé aux deux bouts découpés de la gaine en plomb (fig. 4 inférieure).

V. **Résultats des essais.** — La figure 5 montre les oscillogrammes relevés lors d'une mise à la terre avec

les divers types de câbles : normal, spécial et à un conducteur. On voit que le défaut est éliminé au bout de quelques dizièmes de seconde et qu'il ne peut pas influencer les phases saines. En général, on peut dire qu'avec les mises à la terre qui constituent le plus grand nombre de défauts, on n'a éprouvé aucun insuccès au cours des essais.

L'élimination des courts-circuits est indépendante du nombre de phases en court-circuit. Pour des courants de court-circuit supérieurs à 18 000 A, les défauts ont été éliminés par combustion dans tous les câbles posés directement dans le sol, dans des tubes en fer, par terre et dans des tubes en fibre; par contre

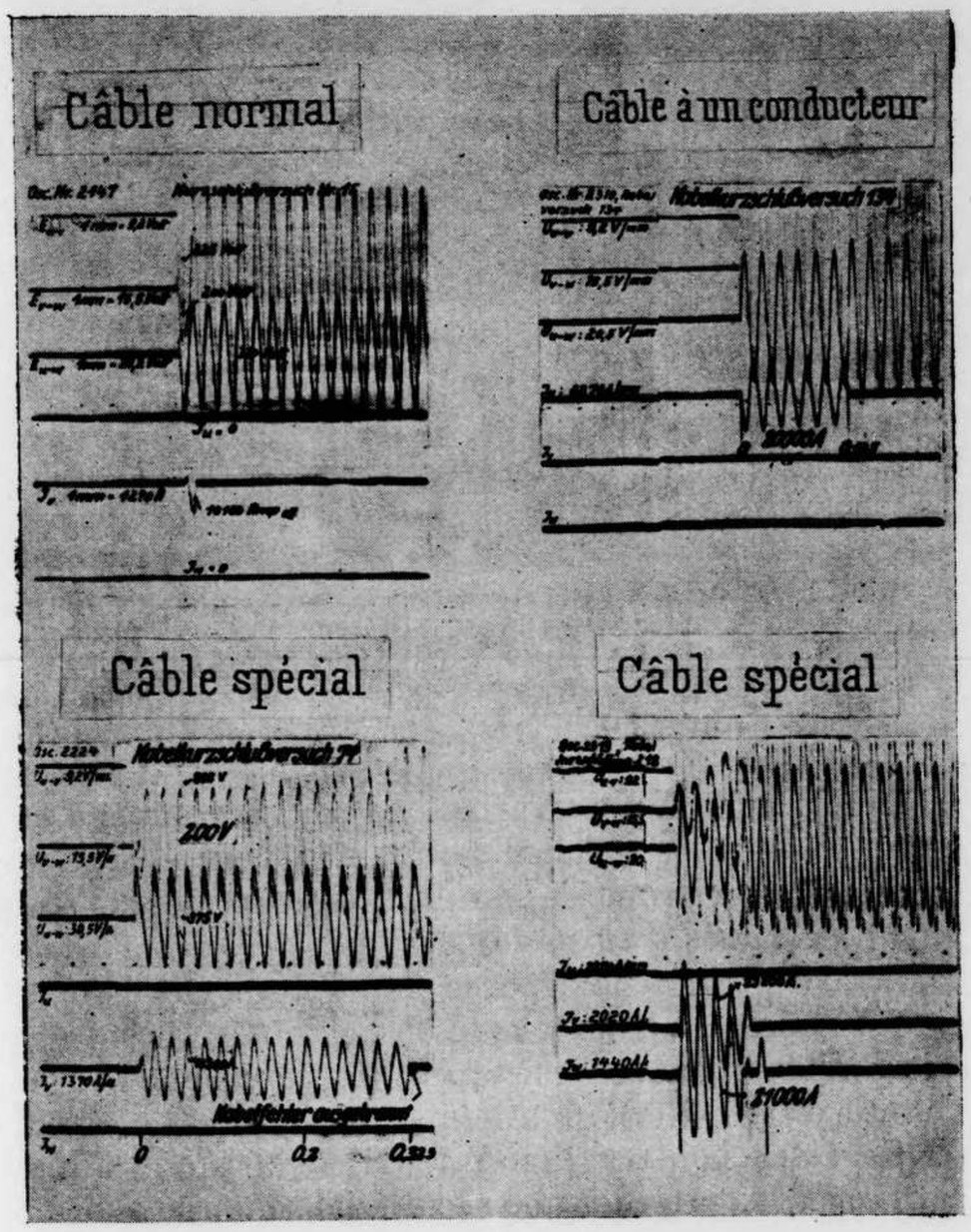


Fig. 5. — Oscillogrammes relevés au cours des essais de mise à la terre.

quelques essais des câbles posés dans des tubes en béton ont échoué même avec des courants inférieurs à 18 000 A.

Avec les intensités de courant supérieures à cette valeur, la combustion au point du défaut provoque une projection de terre, une flamme et de la fumée. Dans le cas d'un court-circuit triphasé d'un câble posé dans un tube en fer avec un courant de 13 000 A, l'élimination du défaut a duré 3,55 s. L'arc a été éteint même avant ce temps, mais des réamorçages ont eu lieu. Pour un court-circuit de 25 000 A dans un câble spécial, le court-circuit diphasé est devenu triphasé après 0,12 s. Le défaut a été éliminé après 1,16 s.

Les câbles spéciaux assurent en général une élimination du défaut deux fois plus rapide que les câbles normaux. Avec des câbles à un seul conducteur l'élimination du défaut a duré 0,1 s avec 24 000 A et 0,32 s avec 20 000 A. La combustion aux points des défauts malgré les densités de courant élevées de 150 A : mm² et des durées de quelques secondes n'a jamais pro-

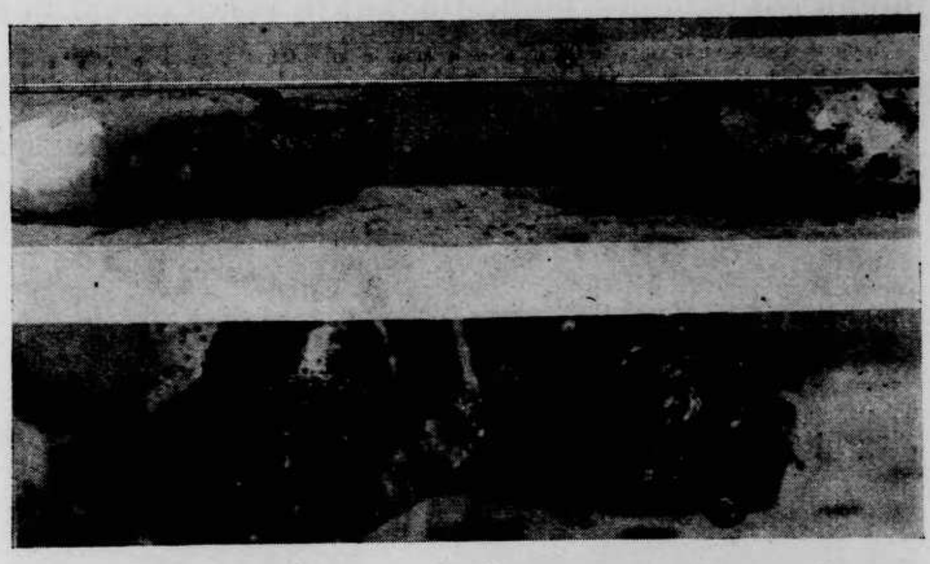


Fig. 6. — Vue montrant l'état d'un câble normal au point défectueux après l'essai de courts-circuits triphasés 12 000 A.

voqué de fatigue de l'isolant dans les parties du câble éloignées de plusieurs centimètres du point atteint.

L'élimination de défauts n'a aucune influence sur les câbles voisins.

Les figures 6 et 7 représentent les endroits de défauts après les essais; la première se rapporte à un câble normal après un court-circuit triphasé de 12 000 A. Le câble est détruit sur une longueur de 7 cm. Des réamorçages sont à craindre, car la distance entre phases

Fig. 7. — Vues de l'état d'un câble spécial au point défectueux après l'essai de court-circuit monophasé 12 000 A (figure supérieure); triphasé, 25 000 A (figure inférieure).

n'est pas suffisante. Les câbles spéciaux se comportent beaucoup mieux (fig. 7). Après une mise à la terre avec un courant de terre de 12 000 A, la phase mise à la terre est coupée et la gaine en plomb, détruite; mais les

phases saines ne sont pas endommagées. Le câble spécial représenté sur la figure 7 inférieure a subi un court circuit triphasé de 25 000 A. Les conducteurs sont brûlés et ont pris la forme de cratère. L'isolant qui développe de l'anhydride carbonique brûle lentement et forme un pont de protection contre les réamorçages de l'arc.

Dans les câbles à un conducteur (fig. 8), la gaine en plomb est toujours fondue avant le conducteur. Si le

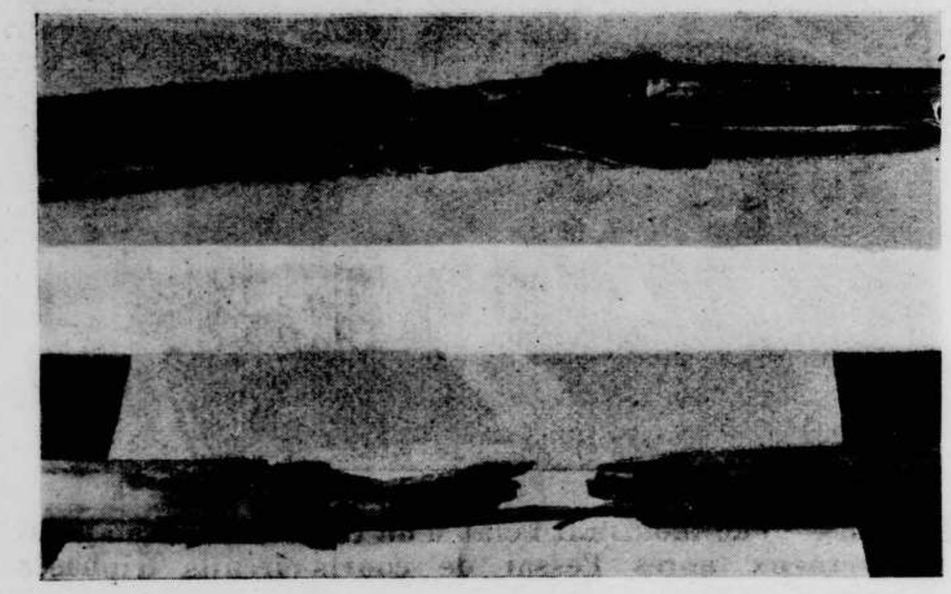


Fig. 8. — Vues de l'état d'un câble à un conducteur au point défectueux après l'essai de court-circuit : mise à la terre, 11 000 A (figure supérieure) ; court-circuit diphasé, 13 000 A (figure inférieure).

défaut apparaît dans une boîte à jonction on peut être sûr qu'il sera toujours éliminé. L'aspect des boîtes de jonction après les essais est représenté sur la figure 9. Un défaut dans le câble qui n'est pas éliminé de suite ne peut se propager que jusqu'à la boîte la plus proche, où il sera sûrement coupé.

VI. **Conclusion.** — On a effectué 213 essais dont 172 ont réussi ; 41 fois il a fallu déclencher à la main. A première vue, ces résultats semblent peu satisfaisants, mais on doit noter que les défauts les plus fréquents, les mises à la terre, ont été éliminés dans tous les cas aussi bien que les courts-circuits inférieurs à 18 000 A ; une seule exception est à relever dans le cas des câbles posés dans des tubes en béton, disposition qui ne doit donc pas être employée.

Avec des bobines d'inductance simples et peu coûteuses jointes aux transformateurs, il est possible de limiter les courants de court-circuit à 18 000 A. Ces bobines peuvent être connectées de manière à ne pas donner lieu à une chute de tension en service normal. Si on emploie des câbles spéciaux, on peut être certain que le défaut sera éliminé même si le courant dépasse 18 000 A.

Pour apprécier l'importance de la solution proposée, il suffit d'examiner la statistique des perturbations. Sur le réseau de câbles souterrains de 3 261 km de la Berliner Elektricitätswerke-Aktien-Gesellschaft, on compte 58 perturbations pendant les années 1928 et 1929, ce qui correspond à 28 perturbations par an ;

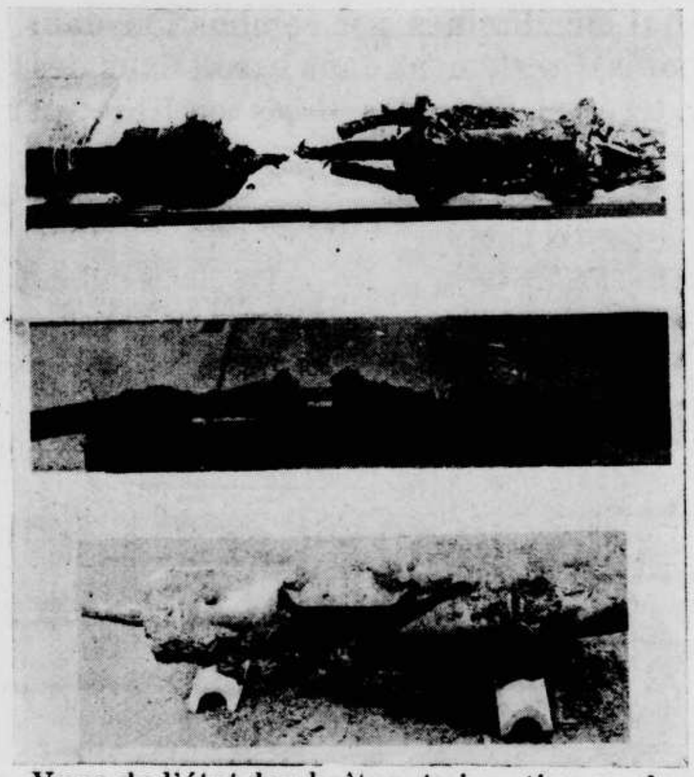


Fig. 9. — Vues de l'état des boîtes de jonction après un essai de court-circuit de 12 000 A, le défaut s'étant produit : à côté de la boîte (figure supérieure) ; au milieu (figure médiane) ; la boîte de jonction étant fondue (figure inférieure).

50 pour 100 de ces perturbations sont des mises à la terre, c'est-à-dire qu'elles seront sûrement éliminées par la solution proposée ; 25 pour 100 sont des courts-circuits éloignés d'au moins de 30 m des transformateurs où le courant ne dépasse pas 18 000 A. Ces défauts seront également dans tous les cas éliminés. Il ne reste que 7 défauts par an ; autrement dit, la probabilité de l'élimination sélective atteint 75 pour 100. Si on emploie des bobines limitant l'intensité du courant à 18 000 A, on arrive à une sécurité absolue.

Encouragée par les résultats des essais précités, la Berliner Elektricitätswerke-Aktien-Gesellschaft a décidé de mettre en service, en été 1930, un réseau maillé à basse tension privé de toute protection sélective contre les surintensités de courant.

A. SEGALL,
Ingénieur.

Les accumulateurs électriques d'après les brevets récents *suite* (*)

I. **Accumulateurs au plomb.** — 4. MONTAGE DES ÉLÉMENTS ET DES BATTERIES (*suite*). — d) *Electrolyte.* — D'Hardivillé (1) prétend prévenir la sulfatation et la faire disparaître plus facilement en remplaçant l'électrolyte normal de l'accumulateur au plomb par une solution dénommée l'énergiolyte de composition suivante : eau distillée, 6 à 8 litres ; sulfate double d'aluminium et de potassium, 500 à 750 g ; fluorescéine, 1 à 3 g ; acide sulfurique à 66° B, environ 3 litres.

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 25 octobre 1930, t. XXVIII, p. 651-663.

(1) Solution pour recharge instantanée et désulfatage des accumulateurs électriques. *Brevet français n° 616 553*, demandé le 17 octobre 1925, délivré le 29 octobre 1926, publié le 4 février 1927, 196 lignes.

On rajoute ensuite de l'eau distillée pour amener le poids spécifique à 1,30.

L'électrolyte de F.-T. Palet (1) serait bien plus étonnant encore puisque, composé de magnésie et d'éosine, il supprimerait, d'après son inventeur, toute dépense d'énergie électrique pour la charge.

Dans les éléments à bacs en matière opaque et complètement fermés, il est difficile de se rendre compte de la hauteur du niveau du liquide, surtout lorsque le couvercle ne porte aucune ouverture, le dégagement gazeux étant prévu par la tige creuse d'amenée de courant à la plaque. Il est évident, en effet, que, dans ce cas, le trou de communication de la tige creuse avec l'intérieur de l'élément doit se faire sur cette tige à un niveau supérieur à celui de l'électrolyte.

Pour permettre néanmoins dans ce dernier cas de s'assurer du niveau de l'électrolyte avec une sonde ou une pipette, la Société belge Accumulateurs Tudor (2) perce dans la tige un deuxième trou au-dessous du niveau normal du liquide ou remplace les deux trous par une ouverture suffisamment allongée pour que la sonde puisse descendre jusqu'au liquide.

J. et V. Huitric (3) contrôlent le niveau de l'électrolyte, particulièrement dans les éléments de batteries de démarrage, en constituant un circuit partant d'un pôle de la batterie renfermant un interrupteur et un appareil indicateur électrique (lampe, aiguille, cadran, etc.) et aboutissant à un organe de contact placé dans l'électrolyte d'un élément.

Cet organe de contact comprend une électrode inattaquable solidaire d'une douille vissée à la place du bouchon. Cette électrode en plomb peut aussi être logée dans une gaine isolante traversant le fût de jonction d'une barrette de réunion des plaques de même polarité.

Pour permettre de se rendre compte si les éléments d'une batterie dont l'électrolyte n'est pas apparent ont suffisamment de liquide, la Société anonyme des anciens Etablissements Chenard et Walcker (4) dispose dans deux éléments de la batterie une tige métallique inattaquable traversant la partie supérieure de l'élément et plongeant dans l'électrolyte jusqu'à une hauteur convenable. Un indicateur, appareil de mesure ou lampe témoin, étant branché entre ces deux tiges indiquera par son fonctionnement si les tiges restent bien immergées. Sinon, c'est qu'il faudra remettre du liquide.

J.-L.-M. Fréjacques (1) emploie le dispositif de remplissage représenté en figure 33.

L'eau renfermée dans le récipient A s'écoule par le tube B dès que le clapet C qui ferme ce tube arrive au

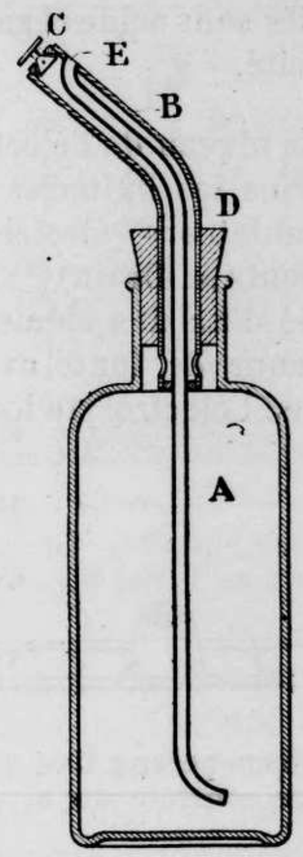


Fig. 33. — Dispositif automatique de remplissage des accumulateurs, de J.-L.-M. Fréjacques.

contact de la partie supérieure des plaques. Le tube de rentrée d'air D débouche en E, de sorte que l'écoulement s'arrête dès que le niveau du liquide affleure cet orifice E et délimite exactement ce niveau.

Pour éviter les inconvénients (renversements d'acide, pertes de capacité, etc.) qui se produisent pendant le transport des accumulateurs, même à liquide immobilisé, la Compagnie générale d'Electricité (2) remplit tout d'abord les éléments d'un mélange sec composé de la substance absorbante et d'acide concentré.

L'élément est transporté ainsi et ce n'est que sur le lieu d'utilisation que l'on ajoute la quantité d'eau nécessaire.

Par exemple, on procède comme suit : on mélange 1 litre de silice artificielle poreuse (gel de silice) de poids spécifique 0,4, à l'état non comprimé, avec 127 g d'acide sulfurique concentré. Après refroidissement, la masse sèche est introduite dans l'élément dont l'espace

(1) Charge pour batteries d'accumulateurs électriques. *Brevet français n° 625 155*, demandé le 26 novembre 1926, délivré le 19 avril 1927, publié le 4 août 1927, 63 lignes.

(2) Dispositif de remplissage de l'électrolyte et d'évacuation des gaz dans les accumulateurs électriques. *Brevet français n° 615 826*, demandé le 8 mai 1926, délivré le 18 octobre 1926, publié le 17 janvier 1927, 53 lignes, 3 figures.

(3) Dispositif pour contrôler le niveau de l'électrolyte dans les accumulateurs électriques. *Brevet français n° 618 934*, demandé le 15 juillet 1926, délivré le 23 décembre 1926, publié le 23 mars 1927, 142 lignes, 5 figures.

(4) Indicateur de niveau de liquide pour accumulateurs. *Brevet français n° 621 249*, demandé le 10 septembre 1926, délivré le 31 janvier 1927, publié le 7 mai 1927, 107 lignes, 2 figures.

(1) Dispositif automatique pour le remplissage des accumulateurs. *Brevet français n° 627 306*, demandé le 10 janvier 1927, délivré le 4 juin 1927, publié le 1er octobre 1927, 52 lignes, 3 figures.

(2) Procédé de remplissage des accumulateurs électriques. au plomb. *Brevet français n° 628 515*, demandé le 12 janvier 1927, délivré le 28 juin 1927, publié le 25 octobre 1927, 127 lignes.

libre a la contenance de 1 litre. Il suffit d'ajouter finalement, graduellement 470 cm³ d'eau distillée pour qu'il se forme dans le bac une bouillie épaisse composée de 830 cm³ d'acide sulfurique de poids spécifique 1,24 et de 400 g de gel de silice.

Dans le but d'immobiliser l'électrolyte, la Société The Silica Gel Corporation (1) introduit entre les plaques un gel de silice. Ce gel ayant la propriété d'absorber l'humidité de l'air ou des plaques (il absorbe en eau jusqu'à 41 pour 100 de son poids à sec) les éléments peuvent être expédiés sans acide et garder la plus grande partie de leur capacité.

Pour vérifier si le niveau de l'électrolyte est normal, particulièrement dans les batteries de démarrage, la Société des Accumulateurs électriques (Société des anciens Etablissements A. Dinin) (2) munit le couvercle en plomb antimonié d'un des éléments d'une proéminence P (fig. 34) venue de fonte avec ce couvercle et formant contact avec l'électrolyte lorsque celui-ci est à

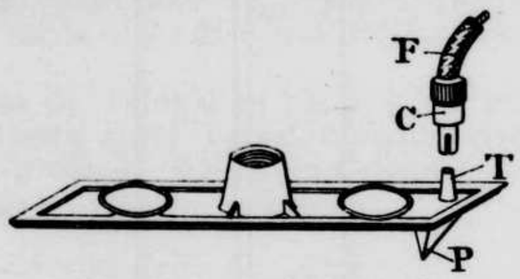


Fig. 34. — Vue en perspective d'un couvercle muni du dispositif de contrôle du niveau de l'électrolyte.

son niveau normal. Sur sa partie supérieure, ce couvercle porte une petite tige T venue également de fonte et sur laquelle on peut enfoncer la prise de courant C avec câble F. En fermant le circuit sur une lampe, ainsi qu'il est représenté en figure 35, on vérifie que le

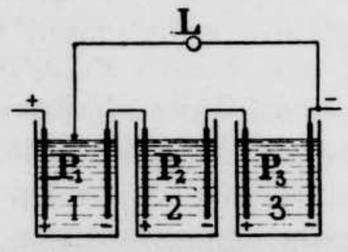


Fig. 35. — Schéma de vérification d'un élément pour le contrôle du niveau de l'électrolyte.

niveau est normal (si la lampe brille) ou qu'il faut remettre de l'eau (si la lampe ne s'allume pas).

J.-D. Sartakoff (3) maintient automatiquement le niveau des éléments d'une batterie montée sur un véhicule par un dispositif qui comprend un réservoir relié par une conduite aux divers éléments de la batterie. L'écoulement de l'eau est commandé par une valve normalement appliquée sur son siège et qui s'en écarte par l'agitation de l'eau à l'intérieur du réservoir. Dans chaque élément, une valve commandée par le niveau de l'électrolyte du bac contrôle l'écoulement de l'eau. Chaque dispositif à valve est monté sur un bouchon s'engageant dans une ouverture du couvercle; mais leur hauteur diminue d'un élément au suivant de façon à former un montage en cascade. Un orifice de sortie permet l'écoulement de l'eau qui n'a pas été utilisée. L'extrémité d'entrée du passage dans l'organe contrôlé par valve est disposée à un niveau plus élevé que les orifices d'entrée et de sortie dudit organe, la valve qui contrôle ce passage étant une valve capillaire qui permet seulement l'écoulement de l'eau à travers elle lorsqu'elle est sur son siège.

Pour régénérer des accumulateurs ayant perdu leur capacité, A.-J. André de la Porte (1) les charge après avoir remplacé l'électrolyte ordinaire par un électrolyte renfermant de l'alun ammoniacal, par exemple dans les proportions suivantes : 16 kg d'acide sulfurique de poids spécifique 1,835, 30 litres d'eau distillée et 2,5 kg d'alun ammoniacal. On le colore à l'aide de 0,1 g de bleu de méthylène.

M. Kugel (2) évite la sulfatation des plaques restées longtemps déchargées en additionnant l'électrolyte de l'accumulateur au plomb d'une petite quantité d'acide phosphorique. On obtient de bons résultats avec 10 g d'acide orthophosphorique par litre d'électrolyte. On peut aussi utiliser l'acide métaphosphorique ou l'acide pyrophosphorique qui se transforment en acide orthophosphorique dans l'accumulateur.

Cet acide peut encore être introduit en partant d'empâtages à base de phosphate de plomb ou d'oxydes de plomb malaxés avec de l'acide phosphorique.

Comme il disparaît de l'acide phosphorique pendant le fonctionnement de l'accumulateur (absorption par le peroxyde de plomb ou entraînement dans les boues), il faut faire, de temps en temps, une nouvelle addition.

Pour immobiliser l'électrolyte, Mme Holbrook, née M. Nocenzo (3), remplit les intervalles des plaques d'un empilage de feuilles poreuses d'environ 0,5 mm d'épaisseur obtenues en comprimant une pâte de bois. Celle-ci est traitée préalablement de la même façon que

(1) Batterie d'accumulateurs. *Brevet français n° 634480*, demandé le 16 mai 1927, délivré le 19 novembre 1927, publié le 18 février 1928, 192 lignes, 1 figure.

(2) Dispositif de contrôle du niveau de l'électrolyte dans les batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 637575*, demandé le 13 juillet 1927, délivré le 30 janvier 1928, publié le 3 mai 1928, 145 lignes 5 figures.

(3) Dispositif d'alimentation de batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 642340*, demandé le 27 septembre 1927, délivré le 5 mai 1928, publié le 27 août 1928, 435 lignes, 4 figures.

(1) Procédé de fabrication d'un électrolyte pour accumulateurs au plomb-peroxyde de plomb et d'un accumulateur pourvu de cet électrolyte. *Brevet français n° 641644*, demandé le 29 septembre 1927, délivré le 21 avril 1928, publié le 7 août 1928, 78 lignes.

(2) Electrolyte pour accumulateurs au plomb. *Brevet français n° 642145*, demandé le 10 octobre 1927, délivré le 2 mai 1928, publié le 22 août 1928, 95 lignes.

(3) Perfectionnements aux piles et accumulateurs électriques. *Brevet français n° 656185*, demandé le 21 juin 1928, délivré le 24 décembre 1928, publié le 30 avril 1929, 110 lignes.

la pâte destinée à la fabrication de la cellulose, afin d'en éliminer les résines et les matières organiques.

Un remplissage facile des éléments est obtenu par M. Hervieux (1) en utilisant un récipient muni d'un bouchon spécial. Celui-ci comprend un long tube flexible de remplissage débouchant à la partie supérieure du récipient et un long tube flexible de prise d'air aboutissant au fond du récipient.

En vue d'obtenir le réglage rapide du niveau de l'électrolyte des éléments d'une batterie transportable, la Société de l'Accumulateur Fulmen (2) adopte un dispositif particulier de fermeture des éléments et un appareil spécial de remplissage.

Comme le montre la figure 36, les bouchons de tous les éléments sont solidaires d'un couvercle général

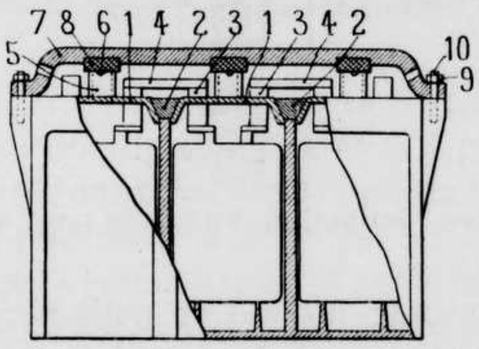


Fig. 36. — Coupe longitudinale d'une batterie d'éléments obturés par une pièce unique.

qu'il suffit d'enlever pour déboucher à la fois tous les éléments. Les couvercles 1 des éléments possèdent une cheminée 5 munie d'un trou ou d'une entaille dont la hauteur est uniforme et servant au dégagement gazeux. Le couvercle général 7 porte sur sa face inférieure les rondelles de caoutchouc 8 qui obturent les orifices supérieurs des cheminées 5. Ce couvercle général est fixé sur le bac par des écrous 9 vissés sur les bouchons 10 du bac.

La figure 37 représente un modèle du réservoir de remplissage. Le réservoir de liquide est muni des tubes

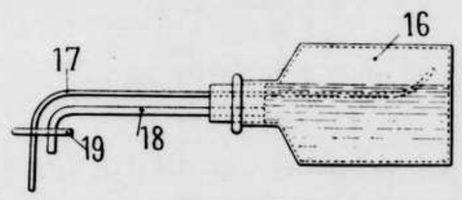


Fig. 37. — Croquis d'un réservoir de remplissage.

17 et 18. Le premier qui sert à la rentrée d'air est capillaire. L'écoulement par le tube 18 s'arrête lorsque le niveau dans l'élément atteint l'extrémité inférieure du tube 17 qui se remplit en partie de liquide par suite de la dépression. En rendant ce tube capillaire, le bouchon liquide qui s'y trouve empêche que l'écoulement recommence lorsqu'on enlève verticalement le dispositif pour passer d'un élément au suivant. Pour assurer à nouveau cet écoulement, il suffit de basculer la fiole pour que la pesanteur fasse retomber le liquide retenu dans le tube capillaire.

e) *Bornes, prises de courant, connexions.* — C.-H. Everett (1) réalise une connexion de borne avec joint flexible, ainsi qu'il est représenté en figure 38 (coupe verticale). La barrette 11 reliant les plaques porte la borne 12 en

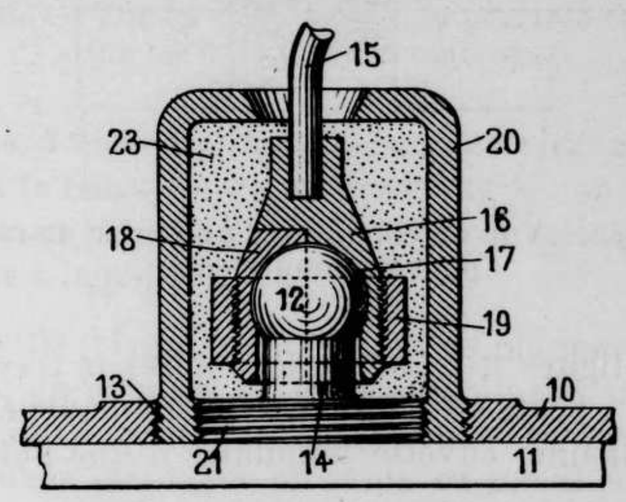


Fig. 38. — Coupe verticale d'une partie du bac d'un accumulateur.

forme de rotule avec sa tige 14 passant à travers le trou 13 du couvercle 10. Le câble 15 se termine par un boîtier 16 présentant une cavité sphérique 17 plus grande qu'une demi-sphère et dans laquelle s'adapte la rotule. Pour permettre le montage et le démontage, le boîtier porte une partie démontable 18. Le diamètre du trou inférieur du boîtier étant plus grand que celui du col de la rotule, le joint est ainsi flexible.

Un écrou de blocage 19 serre les deux éléments du boîtier sur la rotule, la partie filetée étant légèrement conique. Le tout est enveloppé d'un chapeau en ébonite 20 qui se visse dans le trou 13 et dans le filetage 21 de la tige de la rotule. L'intérieur du chapeau est rempli d'une graisse (graisse albany par exemple) pour empêcher la corrosion.

La prise de courant de la Compagnie générale d'Electricité (2), plus particulièrement destinée aux batteries de postes radioélectriques, est représentée en élévation, avec partie en coupe, sur la figure 39.

Les pièces 1 et 2 sont noyées dans la matière du bac. Des douilles mâle 3 et femelle 4 sont vissées sur ces pièces et assurent le serrage des fils de connexion 7 allant aux bornes de prise de courant 5 et 6.

Ainsi, on peut brancher la batterie sur le poste avec une prise de courant à broche ininterchangeable, ce

(1) Bouchon verseur pour le remplissage des bancs d'accumulateurs. *Brevet français n° 657 608*, demandé le 17 juillet 1928, délivré le 16 janvier 1929, publié le 24 mai 1929, 91 lignes, 1 figure.

(2) Perfectionnements aux batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 659 787*, demandé le 30 août 1928, délivré le 11 février 1929, publié le 3 juillet 1929, 231 lignes, 8 figures.

(1) Perfectionnements aux batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 618 454*, demandé le 3 juillet 1926, délivré le 13 décembre 1926, publié le 10 mars 1927, 100 lignes, 2 figures.

(2) Prise de courant pour accumulateurs électriques, piles ou générateurs divers d'énergie électrique. *Brevet français n° 639 061*, demandé le 12 janvier 1927, délivré le 5 mars 1928, publié le 13 juin 1928, 76 lignes, 2 figures.

qui évite toute erreur de pôle, et, d'autre part, on peut utiliser les bornes normales 5 et 6 pour la charge, par exemple.

Pour protéger les connexions contre l'attaque par l'électrolyte, P. Gras (1) utilise le modèle de borne repré-

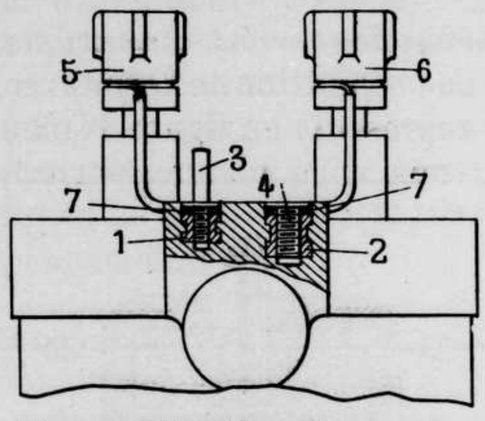


Fig. 39. — Vue en élévation d'une prise de courant pour accumulateurs.

senté en figure 40. La borne 1 après la traversée du couvercle 2 porte en 3 un dispositif emmanché ou soudé présentant une cuvette annulaire 6 que l'on remplit

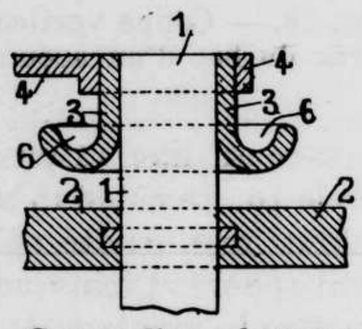


Fig. 40. — Coupe d'une borne protectrice pour accumulateurs.

d'huile épaisse, de graisse ou de paraffine pour éviter la montée de l'acide vers la connexion 4 soudée ou serrée sur la borne protectrice 3.

C'est aussi pour éviter l'attaque des bornes que la Compagnie générale d'Electricité (2) emploie le dispo-

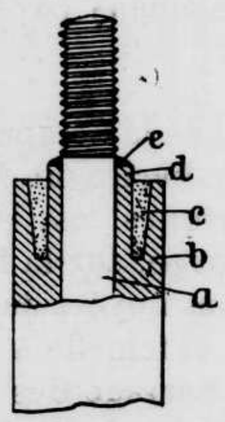


Fig. 41. — Coupe d'un pôle pour accumulateurs.

sitif représenté en figure 41. La tige polaire a (en laiton, plomb ou laiton plombé par exemple) est entourée du récipient b glissé sur elle et destiné à être rempli d'huile ou de graisse c. Ce récipient est pourvu à l'intérieur du prolongement cylindrique d que l'on soude en e à la tige polaire.

La Compagnie générale d'Electricité (1) utilise encore comme borne inattaquable le modèle représenté en figure 42.

La tige en laiton b, filetée à sa partie supérieure, est noyée dans la tige polaire a en plomb. Sur celle-ci on

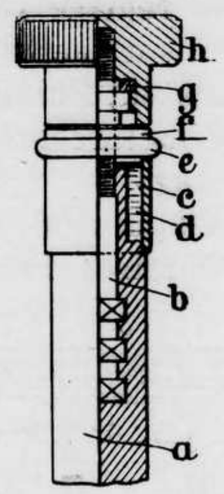


Fig. 42. — Autre réalisation d'un pôle pour accumulateurs

fixe la paroi cylindrique c d'un petit récipient en ébonite que l'on glisse par son bord conique inférieur. L'espace creux d entre le pôle et le récipient est rempli d'huile ou de graisse. Un couvercle e constitué par un disque en plomb dur est vissé sur la tige filetée b et ferme l'espace creux. Sur ce disque on place la plaque support f, puis l'écrou molleté h en ébonite pourvu de la douille en laiton g.

La borne E. Kromann (2) pour batterie de démarrage est représentée en coupe verticale par la figure 43. Sur la borne en plomb a de l'accumulateur on visse d'abord l'écrou b qui serre le couvercle. Sur cette borne

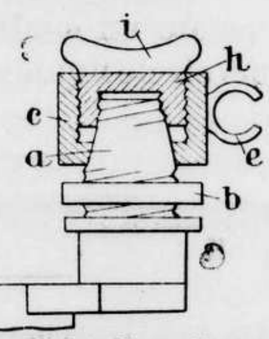


Fig. 43. — Vue en Elévation d'une borne Kromann fixée sur unpôle d'accumulateur.

on place un cylindre creux c à ouverture conique comme la borne. Ce cylindre possède sur le côté un manchon tubulaire e servant à la fixation du câble. Intérieurement, ce cylindre creux est fileté pour permettre de visser le bouchon h dont l'ouverture intérieure conique se visse sur la borne en plomb.

(1) Borne pour accumulateur électrique protégeant les connexions contre l'attaque par l'électrolyte. *Brevet français n° 630 962*, demandé le 16 mars 1927, délivré le 3 septembre 1927, publié le 12 décembre 1927, 75 lignes, 1 figure.

(2) Pôle pour accumulateurs électriques au plomb. *Brevet français n° 634 260*, demandé le 5 mai 1927, délivré le 9 novembre 1927, publié le 13 février 1928, 48 lignes, 1 figure.

(1) Pôle pour accumulateurs électriques au plomb, *Brevet français n° 634 076*, demandé le 9 mai 1927, délivré le 8 novembre 1927, publié le 9 février 1928, 62 lignes, 1 figure.

(2) Borne d'accumulateur. *Brevet français n° 640 296*, demandé le 30 août 1927, délivré le 24 mars 1928, publié le 10 juillet 1928, 115 lignes, 3 figures.

En vissant le bouchon h, on produit une compression du cylindre creux c contre la tête de la borne en plomb et aussi de l'ouverture conique de ce cylindre creux sur le bas de la borne en plomb. L'intérieur du dispositif ne peut pas être atteint par les vapeurs acides.

La Société Koscherak Siphon Bootle Works(1) utilise, particulièrement pour les batteries de démarrage, une prise de courant telle que celle représentée en figure 44. Le conducteur 11 est introduit dans le corps cylindri-

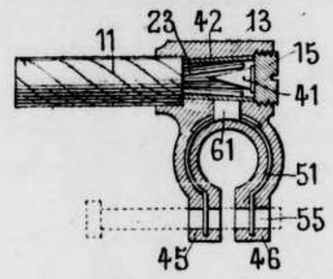


Fig. 44. — Borne de connexion pour batterie d'accumulateurs.

que 13 du collier de serrage sur la borne en plomb de la batterie. Une douille cylindrique 42 à griffes triangulaires est insérée dans l'ouverture 13, de telle sorte que les griffes se referment sur les fils 23 du conducteur pendant que ces fils sont déployés par le coin conique 41 enfoncé par le bouchon 15. Pour rendre plus élastiques les mâchoires de serrage 45, 46, une bande d'acier 51 est noyée dans ces pièces en plomb.

La prise de courant de la Compagnie générale d'Electricité (2), particulièrement applicable aux batteries de tension des postes radioélectriques, est représentée en élévation par les figures 45 et 46, la première étant

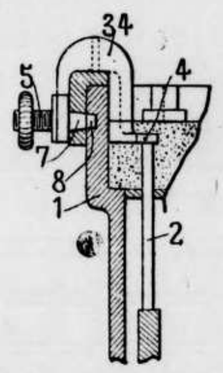


Fig. 45. — Coupe suivant a b de la figure 46.

une coupe suivant a b de la seconde. La prise de courant est une pièce 3 en plomb antimonié en forme de col de cygne s'ajustant sur le profil de la borne extrême 2. Un goujon 5 avec écrou permet le serrage d'un conducteur. Des deux côtés de ce goujon, la pièce 3 s'élargit en formant deux pattes 6 percées d'un trou 7 carré dont la section longitudinale est trapézoïdale. En face de ces trous 7 on a ménagé dans la paroi du bac des cavités 8 de forme semblable.

(1) Borne de connexion pour batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 644 978*, demandé le 1er décembre 1927, délivré le 25 juin 1928, publié le 17 octobre 1928, 304 lignes, 10 figures.

(2) Mode de fixation des prises de courant sur les bacs d'accumulateurs électriques. *Brevet français n° 647 289*, demandé le 2 décembre 1927, délivré le 30 juillet 1928, publié le 22 novembre 1928, 81 lignes, 3 figures.

Pour fixer la prise de courant, on fait couler par les trous 7 quelques gouttes de plomb dans les cavités 8 que l'on remplit entièrement, puis on soude ce plomb

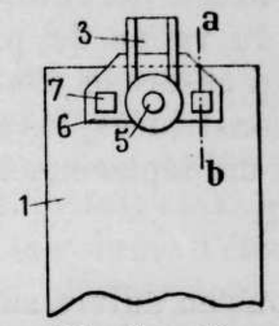


Fig. 46. — Vue en élévation d'une prise de courant sur les bacs d'accumulateurs.

aux pattes 6 en remplissant les trous 7 de gouttes de plomb. Si le bac 1 est en matière fragile, on introduit d'abord dans les creux 7 et 8 un ergot métallique que l'on soude à la patte 6.

E. Parvillé (1) réunit entre elles les plaques de même polarité d'un élément et les connecte aux plaques de polarité contraire de l'élément voisin, en soudant sur chaque queue de plaque un câble en métal conducteur (bronze phosphoré par exemple). Ce câble est protégé contre les attaques de l'électrolyte par une garniture en caoutchouc ou une couche de plomb. Ces câbles réunis en nappe traversent le couvercle par une échancrure convenable de celui-ci sur le côté. Leurs extrémités, munies d'une tête aplatie percée d'un trou, sont réunies entre elles et avec les extrémités des câbles de polarité contraire de l'élément voisin, par un boulon de serrage.

Les avantages signalés sont légèreté et bonne conductibilité des connexions en même temps que facilité de montage et de démontage.

Pour relier ensemble les divers éléments d'une batterie, la Compagnie générale d'Electricité (2) fait usage de la connexion représentée en figure 47.

Aux deux extrémités de la barrette positive sont soudés deux rubans de plomb c. Ceux-ci sont livrés

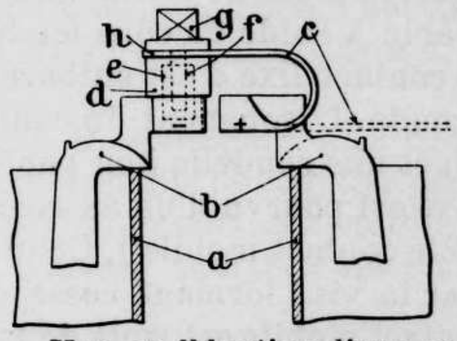


Fig. 47. — Vue en élévation d'une connexion pour éléments de batterie d'accumulateurs.

suivant la position horizontale représentée en lignes pointillées et recourbés au montage comme indiqué

(1) Connexions pour accumulateurs. *Brevet français n° 662 975*, demandé le 8 février 1928, délivré le 29 mars 1929, publié le 14 août 1929, 197 lignes, 2 figures.

(2) Connexion des éléments des batteries d'accumulateurs électriques au plomb. *Brevet français n° 652 511*, demandé le 21 février 1928, délivré le 23 octobre 1928, publié le 9 mars 1929, 91 lignes, 3 figures.

par les lignes en traits pleins. La barrette négative porte à chacune de ses extrémités une tête renforcée en plomb d dans laquelle est noyé l'écran en laiton e. Une vis en laiton f dont la tête est entourée de plomb coulé traverse le trou h du ruban de plomb et est vissée dans l'écrou e ce qui assure le contact du ruban et de la barrette. Ainsi constituées, les connexions permettent éventuellement un déplacement dans le sens vertical et latéralement.

Dans les connexions en cuivre sous caoutchouc avec pièces extrêmes en plomb, comme celles employées fréquemment sur les accumulateurs, l'acide peut pénétrer entre le tube de caoutchouc et le conducteur et corroder le cuivre.

W. Haddon, J.-Mc Donald Burnett et J.-A. Fullilove (1) évitent cet inconvénient en constituant la connexion comme il est indiqué en coupe en figure 48; 1 est le conducteur en cuivre, 2, le tube de caoutchouc,

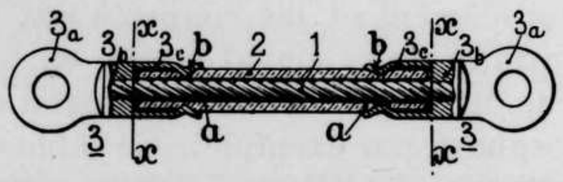


Fig. 48. — Vue en plan, avec coupe longitudinale partielle, d'un conducteur de connexion électrique.

3, les pièces en plomb terminées par les œillets 3_a. La partie tubulaire 3_c en plomb est d'abord mise en place et moulée de manière à présenter la rainure circonférentielle b d'où résulte la gorge rétrécie a. La partie en plomb 3_b et 3_a est ensuite moulée autour de la partie saillante du conducteur 1.

La prise de courant antidéflagrante employée par la Compagnie générale d'Electricité (2), particulièrement sur les locomotives à accumulateurs de mines, est représenté en coupe par la figure 49.

Le câble sort de la caisse a de la batterie en traversant un support b sur lequel est vissé un coude c à l'intérieur duquel la pièce de contact fixe d est reliée à la cosse e du câble à l'aide du cône fendu f bloqué par des écrous. Le contact fixe d est entouré d'un cylindre g vissé sur le coude. L'isolement du contact est réalisé par un canon h et une rondelle i en papier bakélisé.

Le contact fixe est pourvu d'un alésage conique dans lequel s'engage le contact mobile j. Celui-ci est fixé sur la douille k par la vis l formant cosse de sortie pour le câble. Le contact mobile est isolé de la douille k par un canon en papier bakélisé. Le câble est serré à sa sortie par une mâchoire conique n en deux parties filetées intérieurement et par un cône de serrage o.

(1) Perfectionnements aux conducteurs de connexions électriques, plus particulièrement applicables aux éléments d'accumulateurs. *Brevet français n° 649541*, demandé le 22 février 1928, délivré le 3 septembre 1928, publié le 24 décembre 1928, 101 lignes, 2 figures.

(2) Prise de courant antidéflagrante. *Brevet français n° 665 358*, demandé le 22 mars 1928, délivré le 6 mai 1929, publié le 18 septembre 1929, 103 lignes, 3 figures.

Un collier fendu, muni d'une poignée amovible, est monté concentriquement à la douille k.

Lorsqu'il se produit une explosion à l'intérieur de la prise de courant, soit en position normale, soit au

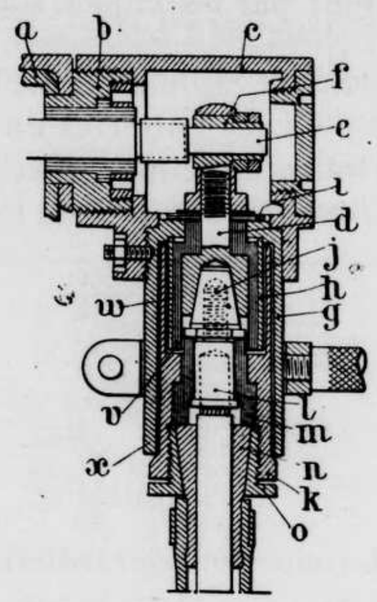


Fig. 49. — Coupe d'une prise de courant antidéflagrante.

moment de la coupure, les gaz de combustion sont forcés de traverser les interstices longs et étroits v, w et x, ce qui les refroidit.

F. Pétrik (1) évite l'attaque des prises de courant extrêmes, particulièrement dans les batteries de démarrage, en constituant celles-ci ainsi qu'il est représenté en figure 50.

Le couvercle 2 de l'élément est serré sur la barrette 1 par un écrou 4 vissé sur le pôle en plomb 3 fileté. Cet

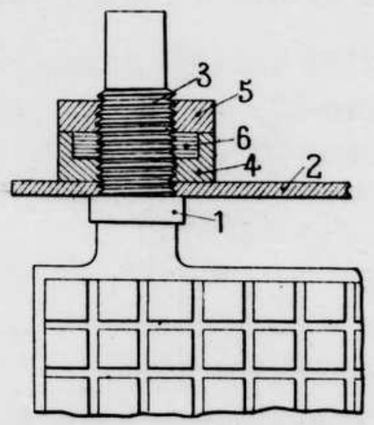


Fig. 50. — Coupe partielle d'un dispositif de fermeture et de prise de courant.

écrou 4 en matière inattaquable est creusé en forme de cuvette 6 que l'on remplit d'une matière lubrifiante. La fermeture est assurée par l'écrou 5 également en matière inattaquable.

La borne de prise de courant G. Santet (2), représentée en coupe verticale par la figure 51, comprend

(1) Fermeture de plaques et de pôles pour accumulateurs électriques. *Brevet français n° 651 662*, demandé le 24 mars 1928, délivré le 15 octobre 1928, publié le 21 février 1929, 90 lignes, 2 figures.

(2) Borne pour accumulateurs électriques et autres appareils. *Brevet français n° 665 834*, demandé le 14 décembre 1928, délivré le 13 mai 1929, publié le 24 septembre 1929, 107 lignes, 3 figures.

une douille en ébonite c clavetée par une clavette en plomb dur b sur la borne en plomb a de l'élément. On évide ensuite en cône la partie supérieure de cette borne. C'est dans cet évidement qu'on loge la prise de courant d en plomb dur comprenant trois parties

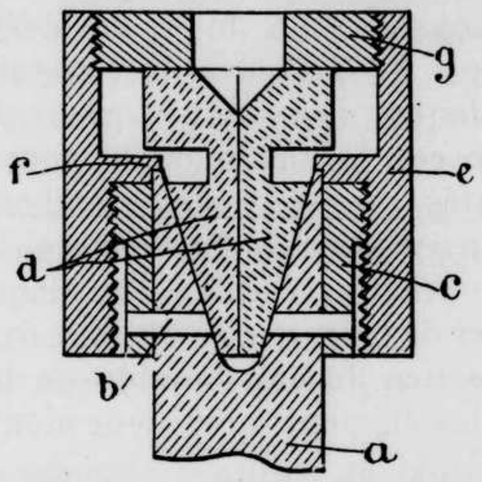


Fig. 51. — Coupe verticale suivant l'axe de la borne de prise de courant G. Santet.

égales. Sur la douille c se visse une autre douille e en ébonite munie d'une portée circulaire f qui s'engage dans la rainure de la prise de courant d. Le vissage de e sur c fait exercer une pression entre les surfaces coniques des trois mâchoires de d qui bloquent le fil conducteur introduit au milieu. Un bouchon g à filetage inverse de e sur c ferme la partie supérieure de la douille.

Pour avoir une cosse ou collier de serrage des bornes de batteries résistant à l'attaque des projections acides, la Société Meyer et Wahl (1) constitue cette cosse en aluminium ou alliage d'aluminium. Un tube de cuivre est noyé dans la masse. C'est à l'intérieur de ce tube que l'on soude l'extrémité du câble de la canalisation.

Dans les batteries transportables (voitures, locomotives de mines, etc.), il arrive que par suite des trépidations les écrous métalliques des bornes viennent en contact avec le couvercle métallique de la caisse renfermant la batterie et il peut en résulter des courts-circuits.

La Compagnie générale d'Electricité (2) évite cet inconvénient en munissant la partie supérieure des écrous d'un capot ou bouchon en matière isolante.

f) *Montages divers d'éléments.* — N. Harrison (3) monte dans un même bac plusieurs unités en parallèle.

(1) Collier de serrage pour bornes d'accumulateurs électriques au plomb. *Brevet français n° 667 913*, demandé le 22 janvier 1929, délivré le 1er juillet 1929, publié le 25 octobre 1929, 62 lignes, 1 figure.

(2) Ecrou isolé pour bornes d'accumulateurs électriques. *Brevet français n° 617 417*, demandé le 13 mars 1929, délivré le 2 septembre 1929, publié le 12 décembre 1929, 56 lignes, 4 figures.

(3) Perfectionnements aux batteries d'accumulateurs électriques. *Brevet français n° 615 761*, demandé le 7 mai 1926, délivré le 18 octobre 1926, publié le 15 janvier 1927, 767 lignes, 12 figures.

Chaque unité se compose de plaques positives et négatives alternées et disposées horizontalement. Ces plaques sont séparées par des plaques poreuses, en bois par exemple.

Au lieu d'alterner les plaques de polarité différente, J. Tudor (1) réunit par groupes des plaques de même polarité alternant alors avec des groupes de plaques de polarité contraire. Il réduit ainsi le nombre des séparateurs et augmente le volume d'électrolyte. Pour faciliter la diffusion, les plaques sont perforées de trous soit dans la matière active, soit dans la grille conductrice.

Il constitue aussi les plaques par juxtaposition de plaques à oxyde rapporté et de plaques à grande surface, les premières étant perforées. La figure 52 repré-

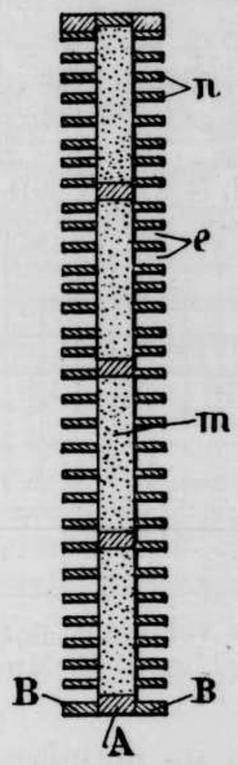


Fig. 52. — Coupe horizontale d'un nouveau montage d'électrodes Tudor.

sente en coupe horizontale une électrode de ce genre. Elle comprend la plaque centrale A à oxyde rapporté m sur les deux faces extérieures de laquelle on a juxtaposé sans intervalle les plaques B à nervures verticales n laissant entre elles les espaces libres e.

L'accumulateur H. Calmels (2) ne comporte pas de plaques. C'est un ensemble de cuvettes placées horizontalement les unes au-dessus des autres dans un support à rainures pouvant se fixer dans un bac et convenablement reliées.

La figure 53 représente une cuvette en coupe verticale. Cette cuvette de section rectangulaire, en celluloïd ou autre matière isolante inattaquable, a 5 à 7 mm de hauteur. Sur son fond perforé on place une

(1) Perfectionnement aux accumulateurs électriques. *Brevet français n° 616 431*, demandé le 20 mai 1926, délivré le 29 octobre 1926, publié le 2 février 1927, 243 lignes, 2 figures.

(2) Accumulateur électrique. *Brevet français n° 618 269*, demandé le 1er juillet 1926, délivré le 10 décembre 1926, publié le 7 mars 1927, 92 lignes, 3 figures.

feuille de carton d'amiante A. Le conducteur est un mince ruban de plomb perforé B posé verticalement en forme de serpentin. La cuvette est remplie par les

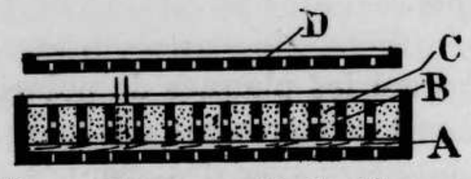


Fig. 53. — Coupe verticale d'une cuvette de l'accumulateur H. Calmels.

oxydes C; puis elle est obturée par un couvercle D en celluloïd perforé.

L'accumulateur E. Michiels (1) est caractérisé par son montage sans soudure et sans brai. La figure 54 représente une coupe en élévation de l'élément que l'on monte de la façon suivante : on met en regard les

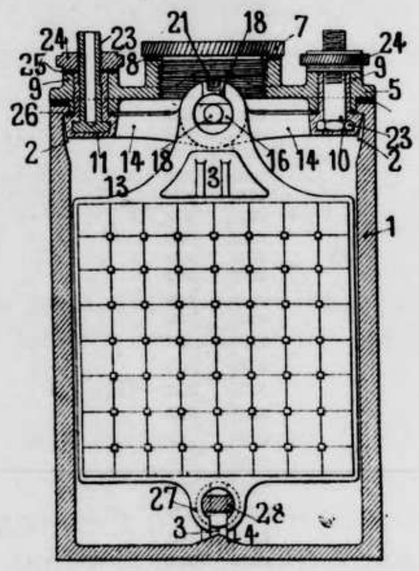


Fig. 54. — Coupe verticale, par l'axe des bornes, d'un élément E. Michiels.

connexions 10 et 11 de manière que les lamelles 14 de chacune d'elles se chevauchent, les trous 15 étant en regard. On intercale des rondelles isolantes, puis on passe l'axe 16 dont la partie méplate est tenue verticale. On visse à une extrémité un écrou sans le serrer et on introduit les plaques 13 dans leurs logements respectifs. On tourne l'axe 16 de manière que l'encoche 18 se trouve au-dessus. Les plaques se trouvent ainsi verrouillées. On serre l'écrou sans le bloquer; on met en place l'axe 28 et on le fait tourner de 90° sur lui-même. On rabat légèrement les connexions 10 et 11 vers les plaques en les faisant osciller autour de l'axe 16. L'ensemble étant introduit dans le bac 1, il convient de relever les connexions 10 et 11 pour que leur talon respectif s'engage dans les encoches 2 du bac. On place les rondelles de caoutchouc 26 autour des bornes, on pose le joint 6 et on met en place le couvercle 5 en s'assurant que les dents 21 du couvercle pénètrent bien dans l'une des encoches 18 de l'axe 16 ou de l'écrou que l'on bloque à cet effet. Il suffit enfin de placer les rondelles 25 et de serrer les écrous 24. Après introduction de l'électrolyte on visse le bouchon 7 avec interposition du joint 8.

(1) Accumulateur électrique démontable. *Brevet français n° 619 671*, demandé le 2 juillet 1926, délivré le 5 janvier 1927, publié le 7 avril 1927, 390 lignes, 9 figures.

Pour le démontage on fait les mêmes opérations en sens inverse.

Si on sèche les plaques négatives à l'abri de l'air pour pouvoir les conserver chargées, il est très difficile de les utiliser ainsi avec un montage à séparateurs en bois, car la conservation de ces derniers exige qu'ils soient humides. En présence de séparateurs en bois humide, ces plaques s'oxydent et perdent leur charge.

Pour éviter cet inconvénient et pour assurer aux éléments montés avec séparateurs en bois humide une très longue conservation de leur charge, la Compagnie générale d'Electricité (1) utilise les plaques négatives séchées à l'abri de l'air, mais évite leur oxydation ultérieure en présence du bois humide en bouchant hermétiquement les éléments après leur montage.

H. Calmels (2) dispose les électrodes horizontalement les unes au-dessus des autres, alternativement positives et négatives, dans le bac. Chaque électrode est constituée par une cuvette en matière isolante (celluloïd ou ébonite) perforée, tapissée intérieurement d'une toile d'amiante et dans laquelle est fixée la grille garnie de matière active. La cuvette est obturée par un couvercle isolant perforé, des rivets de fixation maintenant sur la cuvette la grille et le couvercle.

L'élément de la Société Ela elektrische Grubenlampen und Akkumulatoren (3) est cylindrique comme

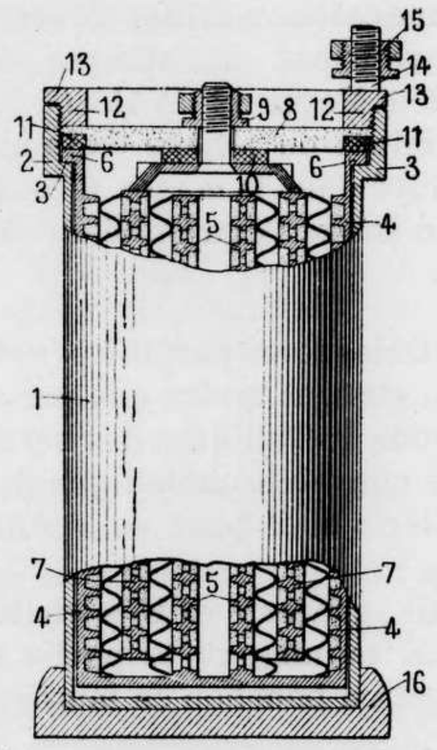


Fig. 55. — Vue en coupe de l'ensemble, d'un nouvel accumulateur de la Société Ela.

le sont généralement les éléments de lampes de mines. La figure 55 représente cet élément eu élévation avec

(1) Nouveau procédé de montage des batteries d'accumulateurs électriques. *Brevet français n° 636 636*, demandé le 19 octobre 1926, délivré le 14 janvier 1928, publié le 13 avril 1928, 138 lignes.

(2) Electrode pour accumulateur. *Brevet français n° 624 461*, demandé le 12 novembre 1927, délivré le 9 avril 1927, publié le 19 juillet 1927, 135 lignes, 4 figures.

(3) Accumulateur. *Brevet français n° 624 881*, demandé le 20 novembre 1926, délivré le 16 avril 1927, publié le 28 juillet 1927, 106 lignes, 2 figures.

partie en coupe. Le bac métallique 1 a sa tête 2 filetée intérieurement. Sur l'épaulement 3 repose la plaque positive 4, munie d'un rebord 6, qui est ainsi reliée électriquement au bac. Cette plaque formant récipient à acide possède un fond sur lequel est rapportée l'électrode positive cylindrique intérieure 5. L'électrode négative 7 est suspendue dans la rondelle isolante 8 formant le couvercle de l'élément. Son serrage est assuré par l'écrou 9 et la garniture 10, l'écrou 9 constituant la borne négative.

Sur le rebord 6 est une garniture 11. La bague filetée 12 est munie du rebord 13 portant le raccord 14 et la borne positive à vis 15.

On peut aussi supprimer le bac 1, l'électrode positive 4 formant elle-même l'enveloppe extérieure.

E.-C.-H. Lefebure (1) utilise un bac à épaulement interne, les plaques reposant sur cet épaulement par des crochets qu'elles portent à leur partie supérieure, l'électrolyte se trouvant à un niveau supérieur à cet épaulement.

L'accumulateur A. Faucher (2) comprend un bac divisé en deux compartiments par une cloison perforée.

Dans chacun des compartiments se trouvent une électrode positive et une électrode négative. Une électrode comprend un vase parallélepipédique en terre poreuse et une lame de plomb en contact avec la matière active. Celle-ci se compose de 70 pour 100 de vieilles plaques (positives ou négatives suivant l'électrode) 20 pour 100 de minium (positive) ou de litharge (négative) et 5 pour 100 de sulfate de magnésie. Le tout est comprimé en grosse grenaille et tassé avec un peu de grenaille de plomb dans les vases poreux.

Pour l'assemblage des plaques de même polarité, la Société Accumulateur Farad (3) munit chaque plaque d'une queue assez longue. Les queues des plaques de même polarité sont réunies en un faisceau de section circulaire qui passe dans un trou du couvercle.

L'accumulateur cellulaire J.-M. Large (4) est à électrodes horizontales. Il comprend deux blocs, l'un positif, l'autre négatif, séparés par une cloison poreuse verticale (grès ou biscuit par exemple). Chaque bloc comprend des séries de cuvettes horizontales, soutenues par des cloisons verticales, le tout coulé en alliage de plomb. Les extrémités des fonds des cuvettes dépassent les cloisons verticales et sont rabattues pour fermer les cuvettes sur les petits côtés. Ces cuvettes sont ensuite garnies de matière active (oxydes de plomb et acide sulfurique).

Au lieu de relever les extrémités des fonds des cellules pour former leur rebord, J.-M. Large (1) emboîte latéralement sur le casier de cellules une plaque découpée de façon à former un rebord à chaque cellule

Dans un autre montage de J.-M. Large (2), chaque cellule constitue un élément distinct muni d'un conducteur. Les cellules sont superposées et isolées l'une de l'autre par des plaques non conductrices. L'inventeur prétendrait ainsi pouvoir grouper les éléments en tension.

Pour éviter que dans les éléments transportables il se produise un déplacement des plaques dans le bac, la Société Robert Bosch Aktien Gesellschaft (3) cale ces plaques dans le bac, ainsi qu'il est représenté en coupe verticale en figure 56. Les plaques 5 sont introduites dans les rainures du bac. Elles sont fortement

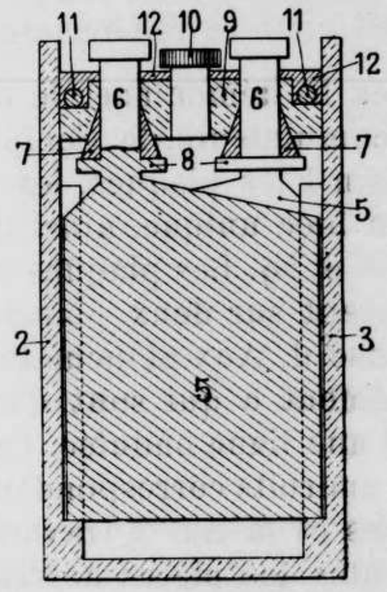


Fig. 56. — Coupe verticale d'un accumulateur destiné aux véhicules.

appuyées sur leur repos par l'intermédiaire du couvercle 9 et des tiges de retenue 11 engagées dans des trous des parois du bac. Des tampons coniques 7 en caoutchouc assurent les joints des bornes. Une couche de matière coulée 12 rend le couvercle étanche.

(1) Bac à épaulement interne pour accumulateur de batterie fixe à fort isolement. *Brevet français n° 631 438*, demandé le 26 mars 1927, délivré le 13 septembre 1927, publié le 20 décembre 1927, 97 lignes, 3 figures.

(2) Perfectionnements apportés aux accumulateurs électriques. *Brevet français n° 634 688*, demandé le 19 mai 1927, délivré le 30 novembre 1927, publié le 23 février 1928, 132 lignes, 3 figures.

(3) Nouvelle disposition d'assemblage de plaques d'accumulateurs. *Brevet français n° 634 889*, demandé le 23 mai 1927, délivré le 9 décembre 1927, publié le 1er mars 1928, 118 lignes, 7 figures.

(4) Accumulateur cellulaire. *Brevet français n° 635 600*, demandé le 7 juin 1927, délivré le 29 décembre 1927, publié le 31 mars 1928, 102 lignes, 5 figures.

(1) Accumulateur cellulaire. *1re Addition n° 35 137*, au *Brevet français n° 635 600*, demandée le 29 mars 1928, délivrée le 18 juin 1929, publiée le 3 décembre 1929, 114 lignes, 5 figures.

(2) Accumulateur cellulaire *2e Addition n° 35 275* au *Brevet français n° 635 600*, demandée le 27 avril 1928, délivrée le 16 juillet 1929, publiée le 31 décembre 1929, 241 lignes, 5 figures.

(3) Accumulateur particulièrement destiné aux véhicules. *Brevet français n° 639 459*, demandé le 12 août 1927, délivré le 10 mars 1928, publié le 22 juin 1928, 119 lignes, 3 figures.

L'élément L.-F.-J. Rousseau (1), représenté en figure 57 comporte une électrode externe cylindrique 1 recouverte intérieurement de la couche de matière active 3 et qui constitue en même temps le bac de

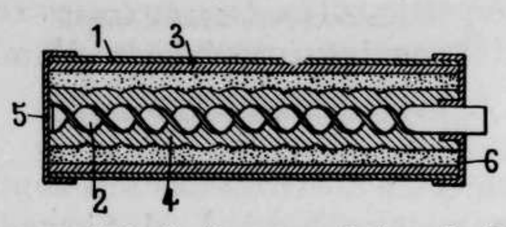


Fig. 57. — Coupe axiale de l'accumulateur L.-F.-J. Rousseau.

l'accumulateur. L'autre électrode est une lame de plomb 2 tordue en hélice et recouverte de matière active 4. Le cylindre 1 est fermé par les capuchons 5 et 6 en matière isolante et l'électrolyte est, de préférence, immobilisé.

Dans une variante de l'élément L.-F.-J. Rousseau (2), l'électrode cylindrique extérieure formant le bac est fermée à ses deux extrémités par des rondelles de caoutchouc maintenues par des rondelles rivées ou vissées sur la tige de l'électrode centrale.

En cas de surpression intérieure, les gaz s'échappent par déformation des rondelles plastiques.

On peut aussi constituer un ensemble de ces éléments cylindriques et assurer le maintien des rondelles par deux plaques rigides réunies par deux tirants formant boulons.

Afin de faciliter le démontage, le nettoyage et le remontage des accumulateurs, la Compagnie générale d'Electricité (3) réunit les plaques, les séparateurs et les tasseaux en un bloc unique, ainsi qu'il est représenté en figures 58 et 59. Les plaques a (positives) et b (négatives) reposent sur deux planchettes c reliées par la plaque de base d. Aux planchettes c sont fixées les pièces d'écartement e qui sont d'étroites bandes découpées suivant une ligne ondulée. Celles-ci portent des œillets f. Aux endroits correspondants, les plaques portent des alésages et la tige g traverse ces alésages et ces œillets. Toutes les pièces autres que les électrodes sont en matière isolante inattaquable (ébonite).

L'accumulateur O. Schneider (4) pour lampes de mine comprend une électrode positive cylindrique montée entre deux électrodes négatives cylindriques concentriques. La grille positive est constituée par des anneaux parallèles reliés à l'aide d'entretoises et com-

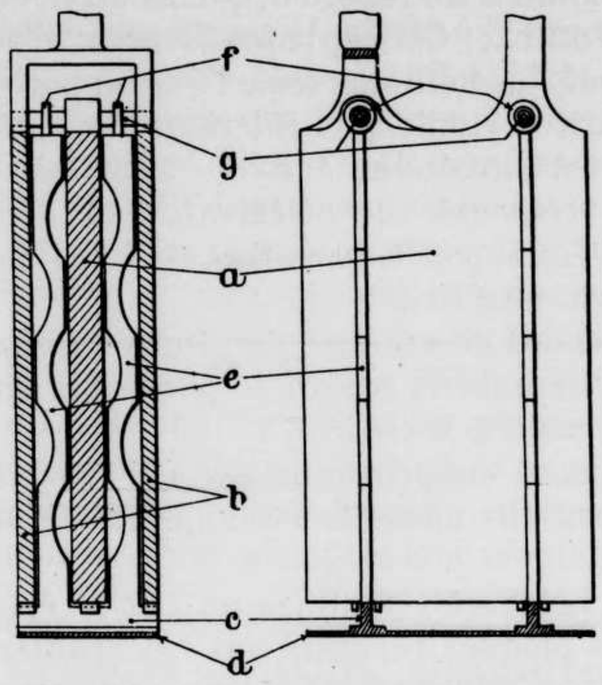


Fig. 58. — Coupe perpendiculaire au plan des plaques d'un accumulateur à démontage rapide.
Fig. 59. — Coupe parallèle au plan des plaques de l'accumulateur représenté sur la figure 58.

portant des ouvertures, les alvéoles des anneaux étant inclinés. Le tout est coulé d'une seule pièce.

Dans l'accumulateur J.-M. Large (1), les électrodes sont disposées horizontalement les unes au-dessus des autres en les séparant par un séparateur en ébonite. Chaque électrode comprend une plaque de matière active entre deux plaques de charbon obtenues en carbonisant des feuilles de bois tranchées ou déroulées puis lavées à l'eau acidulée. Les conducteurs sont des plaquettes en plomb noyées dans la matière active.

C.-H. Everett et G.-R. Carr (2) constituent un accumulateur dans lequel les électrodes portent des barreaux tubulaires noyés dans la matière, communiquant avec l'extérieur des électrodes et munis à l'intérieur de la matière d'orifices latéraux. Les gaz formés pendant le fonctionnement de l'élément produisent une circulation d'électrolyte de l'extérieur vers l'intérieur de la matière active.

Les plaques de l'accumulateur H. Elsner (3) sont disposées horizontalement. Chaque plaque comprend un support ondulé en ébonite. Les cannelures fermées du bas sont remplies de matière active, tandis que les cannelures fermées du haut sont percées de trous.

Les côtés des plaques sont clos par des parois frontales qui peuvent présenter des saillies pour porter les

(1) Perfectionnements aux accumulateurs électriques. *Brevet français n° 657 322*, demandé le 22 novembre 1927, délivré le 15 janvier 1929, publié le 21 mai 1929, 125 lignes, 4 figures.

(2) Perfectionnements aux accumulateurs électriques. *1re Addition n° 35 066* au *Brevet français n° 657 322*, demandée le 17 janvier 1928, délivrée le 18 juin 1929, publiée le 3 décembre 1929, 96 lignes, 2 figures.

(3) Accumulateur électrique. *Brevet français n° 652 517*, demandé le 29 février 1928, délivré le 23 octobre 1928, publié le 9 mars 1929, 77 lignes, 2 figures.

(4) Plaque positive applicable aux accumulateurs électriques utilisée notamment dans les lampes de mineur. *Brevet français n° 657 469*, demandé le 12 juillet 1928, délivré le 15 janvier 1929, publié le 23 mai 1929, 85 lignes, 5 figures.

(1) Accumulateur à oxydes rapportés logés entre des plaques de charbon *Brevet français n° 658 986*, demandé le 14 août 1928, délivré le 29 janvier 1929, publié le 22 juin 1929, 56 lignes, 3 figures.

(2) Batterie d'accumulateurs. *Brevet français n° 661 342*, demandé le 1er octobre 1928, délivré le 4 mars 1929, publié le 24 juillet 1929, 179 lignes, 4 figures.

(3) Accumulateur électrique. *Brevet français n° 670 719*, demandé le 2 mars 1929, délivré le 24 août 1929, publié le 4 décembre 1929, 137 lignes, 3 figures.

plaques. Des câbles de plomb sont incorporés dans la matière active.

L'accumulateur P.-E. Cailleux (1) comprend une couronne en matière isolante (verre de préférence) fermée de chaque côté par une plaque en fer blanc ou en aluminium sertie sur la couronne. Celle-ci porte deux trous, un pour le remplissage, l'autre pour le dégagement des gaz, ces trous étant normalement obturés par une bague élastique entourant la couronne. Les deux électrodes à oxyde rapporté sont fixées sur les fonds par l'intermédiaire d'une plaque de plomb. Une rondelle plastique formant joint étanche est placée entre chaque fond et la couronne.

Pour monter une batterie de ces éléments en série, il suffit de les mettre en contact par leurs fonds.

g) *Montages de batteries avec électrodes bipolaires.* — L'accumulateur E. Deodato (2) a comme caractéristique que chaque plaque est constituée d'une matière isolante (bois, celluloïd, ébonite, etc.) ou en métal recouvert d'un isolant et comporte sur ses deux faces des alvéoles destinés à recevoir les pastilles de matière active. Ces plaques sont accolées par leurs bords qui sont traversés par des boulons isolés de sorte que le bac est constitué par les plaques elles-mêmes. Chaque alvéole et chaque pastille présentent un trou dans leur milieu pour le passage d'un boulon qui réunit les deux pastilles opposées d'une même plaque.

Dans une autre forme d'exécution, E. Deodato (3) utilise des plaques supports en forme de cuvettes s'emboîtant les unes dans les autres. Les rebords des cuvettes sont soudés ensemble (à l'acétone par exemple, si ces cuvettes sont en celluloïd). Les deux plaquettes actives, de forme rectangulaire, devant former électrode bipolaire, comportent une tête qui vient s'appliquer sur une douille de même métal que celui des plaquettes. Cette douille est logée dans une perforation du fond de la cuvette et est traversée par un rivet en matière isolante inattaquable. On peut aussi relier les têtes des deux plaquettes par une tige métallique (en plomb dans l'accumulateur en plomb) ou par une tige en charbon traversant le fond de la cuvette portant un bossage en ce point.

Pour éviter que la matière active tombant des électrodes ne vienne mettre celles ci en court-circuit dans les éléments à électrodes bipolaires, la Compagnie générale d'Electricité (1) dispose entre les plaques des bagues isolantes du modèle représenté en coupe par la figure 60. Cette bague cylindrique a est munie d'une cloison séparatrice b à la partie inférieure, tandis qu'à

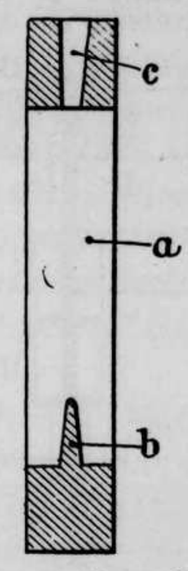


Fig. 60. — Coupe d'une bague isolante pour accumulateurs à électrodes bipolaires.

la partie supérieure se trouve l'orifice de remplissage c. L'étanchéité entre les électrodes bipolaires cylindriques et les bagues isolantes est assurée par une matière de remplissage.

La Compagnie générale d'Electricité (2) emploie le dispositif représenté en figure 61 pour pouvoir prélever des tensions intermédiaires dans les batteries de ten-

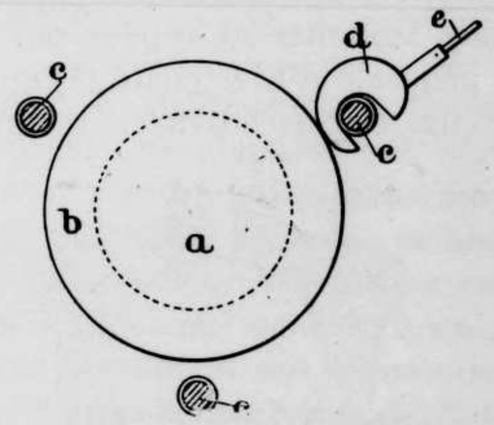


Fig. 61. — Dispositif pour le prélèvement des tensions intermédiaires sur les batterie d'accumulateurs.

sion à électrodes bipolaires. Les électrodes bipolaires a sont serrées à leurs bords b entre des bagues d'étanchéité. Les tirants c assurant l'assemblage sont entourés d'une enveloppe isolante. La prise de courant intermédiaire comprend une pièce métallique d en forme de faucille qui est serrée par croisement entre une des électrodes bipolaires et un des tirants. Cette pièce métallique est munie du conducteur e.

(1) Elément creux hermétique et autonome susceptible de constituer un accumulateur, une soupape électrolytique ou autre. *Brevet français n° 671 707*, demandé le 19 mars 1929, délivré le 7 septembre 1929, publié le 18 décembre 1929. 264 lignes, 6 figures.

(2) Accumulateur électrique. *1re Addition n° 32 854* au *Brevet français n° 603 683*, demandée le 6 août 1926, délivrée le 21 novembre 1927, publiée le 6 mars 1927, 171 lignes, 7 figures.

(3) Accumulateur électrique. *2e Addition n° 34414* au *Brevet français n° 603 683*, demandée le 4 octobre 1927, délivrée le 12 janvier 1929, publiée le 18 juin 1929, 261 lignes, 15 figures.

(1) Bague isolante pour accumulateurs électriques formés par des électrodes bipolaires. *Brevet français n° 636 304*, demandé le 16 février 1927, délivré le 11 janvier 1928, publié le 6 avril 1928, 50 lignes, 2 figures.

(2) Dispositif pour le prélèvement des tensions intermédiaires aux batteries d'accumulateurs dont les éléments constitués par des électrodes bipolaires et des bagues isolantes sont reliés par des tirants. *Brevet français n° 636 305*, demandé le 16 février 1927, délivré le 11 janvier 1928, publié le 6 avril 1928, 37 lignes, 1 figure.

En vue d'assurer une étanchéité suffisante dans le montage des électrodes bipolaires, la Compagnie générale d'Electricité (1) emploie le dispositif représenté en figure 62 qui montre la coupe transversale d'une électrode bipolaire circulaire et de son montage. Cette

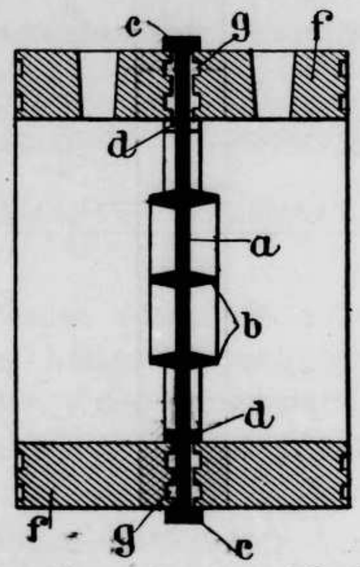


Fig. 62. — Coupe d'une électrode bipolaire circulaire.

électrode bipolaire a est munie d'ailettes b entre lesquelles est introduite la matière active. Les bagues isolantes f sont placées entre les deux exhaussements c et d en forme d'anneaux que porte l'électrode. Une matière de remplissage est coulée en g et les bagues isolantes peuvent être munies de rainures annulaires sur leurs faces frontales.

Dans les batteries à électrodes bipolaires séparées par des lignes isolantes et reliées par des tirants, la Compagnie générale d'Electricité (2) munit les bagues isolantes a (fig. 63) de bossages b qui entourent les

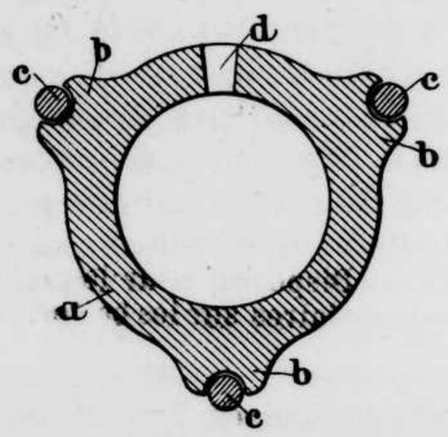


Fig. 63. — Dispositif de montage rigide des batteries d'accumulateurs à électrodes bipolaires.

tirants c. L'orifice de remplissage est représenté en d. Le montage est ainsi facilité et il est très rigide. Les plaques électrodes peuvent aussi être munies de bossages correspondants, mais il est nécessaire alors que les tirants soient recouverts d'un revêtement isolant.

(1) Electrodes bipolaires pour accumulateurs électriques. *Brevet français n° 630068*, demandé le 2 mars 1927, délivré le 9 août 1927, publié le 23 novembre 1927, 46 lignes, 2 figures.

(2) Dispositif de montage rigide des batteries d'accumulateurs dont les éléments composés d'électrodes bipolaires et de bagues isolantes sont reliés par des tirants. *Brevet français n° 630126* demandé le 3 mars 1927, délivré le 9 août 1927, publié le 23 novembre 1927, 37 lignes, 1 figure.

La Compagnie générale d'Electricité (1) utilise encore le mode de montage à électrodes bipolaires représenté par la figure 64.

Un récipient cylindrique a, couché horizontalement, est muni d'un fond b et revêtu intérieurement de la

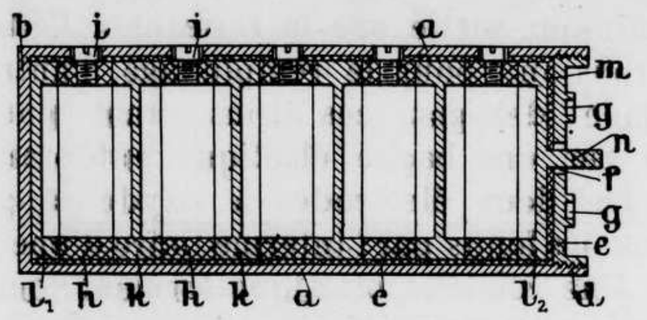


Fig. 64. — Coupe schématique verticale d'une batterie d'accumulateurs à électrodes bipolaires.

couche isolante c, à l'exception du fond. Son extrémité porte un filet intérieur dans lequel est vissé le couvercle e possédant une ouverture f et deux logements g pour la clé de serrage. Les bagues isolantes h sont munies à leur partie supérieure d'ouvertures de remplissage fermées par les vis i. A ces ouvertures des bagues isolantes correspondent, naturellement, aussi des ouvertures dans le cylindre et son revêtement. Le récipient renferme les électrodes bipolaires k ainsi que les électrodes d'extrémité l_1 et l_2 dont la première l_1 est en contact avec le fond b, tandis que la seconde l_2 est séparée du couvercle par la plaque isolante m. Cette dernière électrode est munie de la prise de courant n, la paroi du récipient formant l'autre pôle.

La batterie L.-F.-J. Rousseau (2) est montée avec électrodes bipolaires. Des plaques de plomb sont recouvertes de chaque côté de couches d'oxyde de plomb qui formeront d'un côté le pôle positif d'un élément et de l'autre, le négatif de l'élément voisin. Les diverses plaques sont séparées par des cadres en matière isolante qui constituent les bacs. L'électrolyte est une solution, immobilisée ou non, de sulfate de soude.

L. F. J. Rousseau (3) indique encore l'emploi d'électrodes cylindriques, de plaques constituées par une simple feuille de plomb perforée de trous à bords courbés de manière à présenter des lèvres coniques formant crochets de retenue de la matière active.

Comme immobilisant de l'électrolyte, on utilise ici le coton hydrophile seul ou en combinaison avec la silice gélatineuse, ou encore l'éponge de caoutchouc.

(1) Batterie d'accumulateurs électriques à électrodes bipolaires. *Brevet français n° 635095*, demandé le 27 mai 1927, délivré le 17 décembre 1927, publié le 7 mars 1928, 60 lignes, 1 figure.

(2) Perfectionnements aux accumulateurs. *Brevet français n° 652716*, demandé le 15 septembre 1927, délivré le 29 octobre 1928, publié le 12 mars 1929, 127 lignes, 2 figures.

(3) Perfectionnements aux accumulateurs. 1e *Addition n° 34835* au *Brevet français n° 652716*, demandée le 30 décembre 1927, délivrée le 21 mai 1929, publiée le 10 octobre 1929. 159 lignes, 4 figures.

Pour les motocyclettes, la Compagnie générale d'Electricité (1) a imaginé un ensemble renfermant sous une forme ramassée la lampe et la batterie d'accumulateurs. Comme le montre la figure 65 cette dernière comprend deux éléments à électrodes bipolaires. L'élec-

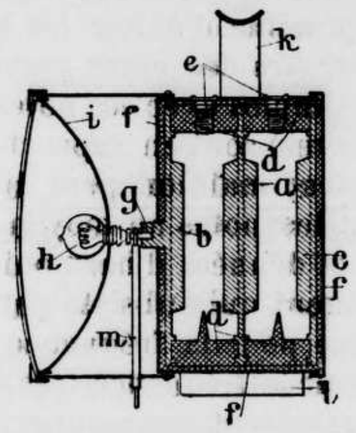


Fig. 65. — Coupe suivant l'axe d'une lampe à accumulateurs.

trode bipolaire a est séparée par des bagues isolantes d des plaques unipolaires extrêmes b et c. Ces bagues isolantes sont munies d'orifices de remplissage fermés par des bouchons e. L'enveloppe métallique f qui entoure la batterie est isolée de celle-ci et n'est en contact qu'avec la plaque c. La plaque b est pourvue d'un appendice g isolé de l'enveloppe qu'il traverse. La lampe h a un pôle en communication avec cet appendice g, l'autre pôle étant relié par le réflecteur i à l'enveloppe f. L'ensemble porte la poignée k et la pièce l en forme de queue d'aronde pour la fixation habituelle

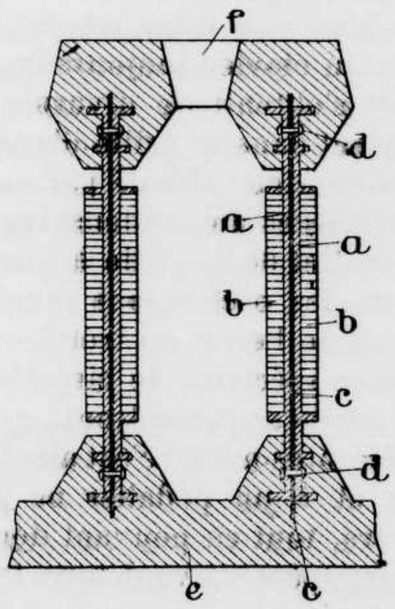


Fig. 66. — Coupe verticale
d'une batterie d'accumulateurs à électrodes doubles.

sur la motocyclette. Pour charger la batterie on réunit la source de charge au câble m, d'une part, et à l'enveloppe f, d'autre part.

(1) Lampe à accumulateur particulièrement prévue pour les motocyclettes. *Brevet français n° 647 286*, demandé le 30 novembre 1927, délivré le 30 juillet 1928, publié le 22 novembre 1928, 76 lignes, 3 figures.

Dans les électrodes bipolaires, il peut arriver que, par suite de l'attaque de l'âme, une liaison se produise entre les électrodes de deux éléments voisins, ce qui met ceux-ci en court-circuit. La Compagnie générale d'Electricité (1) évite cet inconvénient par le montage représenté en figure 66. Les plaques a garnies de la matière active b sont séparées par la plaque d'ébonite c à travers laquelle les plaques a sont connectées entre elles par les rivets d. Les bords des plaques et les rivets sont noyés par collage ou vulcanisation dans les cadres e en ébonite ou autre matière isolante. En f se trouve l'ouverture de remplissage de l'élément.

La batterie J. Delpech et E. Vacheron (2) est aussi à électrodes bipolaires, chaque plaque étant positive d'un côté et négative de l'autre. Des cadres en matière isolante assurent l'écartement des plaques et constituent les cellules étanches. Après réduction de la matière active des plaques, celle-ci est recouverte sur les deux faces d'un dépôt électrolytique de plomb que l'on perfore à l'aide de pointes coniques.

Une autre électrode bipolaire J. Delpech et E. Vacheron (3) comprend des pastilles de matière active déposées de part et d'autre d'une plaque de celluloïd et reliées électriquement par des rivets en plomb. On peut aussi prendre des feuilles de celluloïd perforées, les recouvrir de plomb par métallisation et les former par le procédé Planté.

Dans la batterie P.-E. Cailleux (4) les électrodes sont également bipolaires. Ces plaques sont séparées par des entretoises, rondelles ou anneaux en matière plastique, isolante, inattaquable et imperméable, traversées par des aiguilles creuses servant au remplissage des cavités et au dégagement gazeux. L'ensemble est serré par des tiges traversant des trous alignés pratiqués dans des oreilles des divers éléments. Cet ensemble est disposé dans une boîte dans laquelle on coule une matière isolante.

(*A suivre*) L. Jumau.

(1) Batterie d'accumulateurs à électrodes doubles. *Brevet français n° 647 287*, demandé le 30 novembre 1927, délivré le 30 juillet 1928, publié le 22 novembre 1928, 81 lignes, 1 figure.

(2) Procédé de fabrication d'accumulateur. *Brevet français n° 645 933*, demandé le 20 décembre 1927, délivré le 9 juillet 1928, publié le 5 octobre 1928, 81 lignes, 4 figures.

(3) Perfectionnements aux accumulateurs électriques. *1re Addition n° 35 180* au *Brevet français n° 647 940*, demandée le 7 avril 1928, délivrée le 25 juin 1929, publiée le 17 décembre 1929, 49 lignes, 2 figures.

(4) Accumulateurs et piles à électrolyte et leur procédé de fabrication. *Brevet français n° 655 628*, demandé le 11 juin 1928, délivré le 18 décembre 1928, publié le 22 avril 1929, 301 lignes, 12 figures.

Revues, analyses et informations

Orgue électrique.

Sous ce titre a été présentée par M. G. Ferrié à la séance du 6 octobre 1930 de l'Académie des Sciences une note de MM. E. Coupleux et Givelet (1) dans laquelle est exposé le principe de l'orgue électrique basé sur l'utilisation directe des oscillations des triodes pour la production des sons musicaux. Voici le texte de cette note :

On sait qu'il est possible d'obtenir des sons musicaux au moyen de lampes triodes connectées à des circuits doués de self-inductance et de capacité, et reliées à des écouteurs téléphoniques ou à des haut-parleurs qui transforment les oscillations électriques en vibrations acoustiques.

Dans ce but, deux méthodes peuvent être employées : la méthode des interférences et la méthode directe. La première, séduisante au premier abord, présente l'inconvénient d'une grande instabilité : une variation de 1 pour 100, par exemple, dans la fréquence des oscillations d'un des triodes peut entraîner une variation de 25 pour 100 (c'est-à-dire d'une tierce) ou même davantage, dans la hauteur des sons résultant du battement. Cette méthode ne semble donc pas convenir aux instruments polyphoniques où le moindre déréglage rend les accords faux et insupportables. Il paraît donc nécessaire, pour ces instruments, de recourir à la seconde méthode qui consiste à produire directement les oscillations musicales aux moyen d'un seul triode. Il convient, toutefois, de choisir un triode à forte résistance interne pour obtenir une stabilité suffisante.

Dans la formule qui donne la fréquence des oscillations en fonction des caractéristiques électriques d'un triode et des circuits qui lui sont connectés, il existe un terme $\frac{R}{\rho}$ où R représente la résistance du circuit oscillant ρ, et celle de la lampe. Si la lampe est résistante, ce terme devient négligeable et disparaît. Il ne subsiste plus aucun paramètre relatif à la lampe et les fréquences sont indépendantes de l'état de cette lampe, ce qui assure une grande stabilité.

Lorsqu'on se propose de réaliser la polyphonie, c'est-à-dire des accords, on se heurte à une réelle difficulté provenant des interférences entre certaines notes et les harmoniques d'autres notes ; par exemple, le second harmonique de l'*ut* a la même fréquence que le *sol* de l'octave supérieure. Si, par suite d'un léger désaccord, ces fréquences viennent à différer d'une quantité très faible, il y a interférence entre ces deux fréquences et production de battements qui se traduisent par des bourdonnements antimusicaux. Ces battements pourraient être évités en employant la gamme exacte des physiciens dans laquelle les fréquences sont proportionnelles aux rapports numériques simples : $1, \frac{9}{8}, \frac{5}{4}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{15}{8}$, parce qu'alors les notes des octaves supérieures possèdent rigoureusement la même fréquence que les harmoniques des notes des octaves inférieures ; mais à cause de la nécessité d'introduire des demi-tons, on est amené à employer la gamme tempérée qui comprend, par octave, douze notes dont les fréquences sont exprimées par des nombres incommensurables proportionnels aux termes d'une progression géométrique ayant pour raison $\sqrt[12]{2}$.

Il est alors impossible d'éviter les battements entre les harmoniques supérieurs des notes graves (qui sont en rapports numériques simples avec ces notes) et les notes élevées qui (à part les octaves) sont en rapports incommensurables avec les autres notes ; mais on peut les réduire à presque rien en produisant les notes au moyen d'oscillations à peu près sinusoïdales et dénuées d'harmoniques et en étouffant le très léger battement qui subsiste par un filtre électrique de faible impédance pour la fréquence musicale et de très forte impédance pour la fréquence très basse du battement. Les timbres qui résultent de la superposition des harmoniques à l'oscillation fondamentale peuvent s'obtenir de deux façons : on peut superposer les oscillations sinusoïdales provenant de plusieurs triodes, mais cette méthode exige un trop grand nombre de lampes ; elle ne convient donc qu'à des registres spéciaux comprenant peu de notes, comme ceux qui imitent les trompettes. On peut aussi déformer une oscillation sinusoïdale en l'appliquant à la grille d'une lampe amplificatrice polarisée, de façon à faire travailler cette lampe dans les régions incurvées de sa caractéristique. On obtient ainsi des harmoniques que l'on filtre en disposant, entre la lampe amplificatrice et le haut-parleur, des circuits comportant des inductances et des capacités convenablement choisies. On obtient ainsi des timbres de violoncelle, hautbois, flûte, clarinette, etc.

Il est possible de régler l'attaque des sons suivant la valeur des constantes de temps des circuits employés. On obtient ainsi des jeux liés, détachés ou piqués, tout en attaquant les touches du clavier toujours de la même façon.

Le trémolo peut s'obtenir de diverses manières, notamment en introduisant dans la grille d'une des lampes amplificatrices un condensateur shunté par une forte résistance : les charges et décharges du condensateur font varier périodiquement le potentiel de la grille à une allure assez lente pour produire, sur les oscillations musicales, une sorte de modulation qui donne l'effet du trémolo.

Des combinaisons spéciales de circuits provoquées par le jeu même des touches permettent d'utiliser les mêmes lampes pour différentes notes ; c'est ainsi qu'un orgue à deux claviers à main et à un pédalier ne possède que quinze triodes oscillateurs, tout en pouvant donner 108 notes susceptibles d'être groupées suivant tous les accords usités en musique.

Par rapport aux orgues ordinaires, les avantages sont les suivants :

Réduction considérable de l'encombrement par suite de la suppression des tuyaux et de la soufflerie (avantage capital pour les notes graves) ; absence totale d'inertie, ce qui permet d'exécuter les morceaux les plus rapides et de passer instantanément du fortissimo au pianissimo à peine perceptible ; possibilité de répartir les sons dans toutes les parties d'un édifice, d'utiliser les résonances propres de certaines voûtes, d'obtenir des échos, etc ; possibilité de créer des timbres nouveaux et d'une grande pureté, d'obtenir des voix chantantes formées de sons parfaitement liés, etc.

On voit que ces nouveaux procédés paraissent appelés à ouvrir, d'ici peu, des voies nouvelles à la réalisation des orgues.

(1) E. Coupleux et A. Givelet. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 6 octobre 1930, t. CXCI, p. 557-560, 1 000 mots.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Compagnie Radio-France.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 19 JUIN 1930.

Des rapports annuels, concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 57 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 79, boulevard Haussmann, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Le compte de profits et pertes pour cet exercice fait apparaître un solde créditeur de 4 403 004,28 fr légèrement supérieur à celui de l'exercice précédent qui s'élevait à 4 millions 377 546,94 fr.

Pour apprécier les résultats atteints par la compagnie, il faut tenir compte de la diminution générale du trafic constatée par les statistiques officielles, de la concurrence toujours plus âpre des compagnies étrangères et enfin de la création à l'étranger de nouvelles stations radiotélégraphiques.

Dans le domaine technique, la conjugaison des ondes longues et des ondes courtes a affirmé son efficacité et des perfectionnements nouveaux permettent d'améliorer régulièrement les possibilités et le rendement des installations.

Dans le domaine commercial, une liaison avec le Siam a été mise à la disposition du public le 16 août 1929 ; depuis la clôture de l'exercice, le 1er mars 1930, le service unilatéral France-Japon ouvert le 24 septembre 1926 est devenu bilatéral.

D'autre part, et en collaboration avec la Compagnie générale de Télégraphie sans Fil, la compagnie dont nous nous occupons a élargi le concours qu'elle apporte à l'Administration des Postes, Télégraphes et Téléphones dans le domaine des liaisons radiotéléphoniques. C'est ainsi que le service radiotéléphonique entre Paris et Buenos-Ayres a été ouvert le 1er février 1929 ; on peut ajouter que, depuis la clôture de l'exercice, des services identiques ont été inaugurés, les 1er et 11 avril 1930, avec le Brésil et l'Indochine.

Les accords intervenus entre la Compagnie française des Câbles télégraphiques et la compagnie ont permis de développer en commun leurs moyens d'action commerciaux.

Bien qu'un séisme sous-marin ait, le 18 novembre 1929, interrompu le fonctionnement de tous les câbles de la Compagnie française des Câbles télégraphiques, l'acheminement de la plus grande partie du trafic des câbles a pu être assuré par la Compagnie Radio-France dans des délais et avec une régularité tout à fait satisfaisants.

L'exercice du contrôle de l'Administration des Postes, Télégraphes et Téléphones s'est poursuivi dans les conditions prévues par le contrat de 1920. L'approbation des comptes pour les exercices 1927 et 1928 a été notifiée à la compagnie.

Celle-ci a procédé à l'amortissement par voie de tirage au sort, le 20 novembre 1929, de 3 380 actions, dont 360 de la catégorie A et 3 020 de la catégorie B.

Les actions ainsi amorties sont remboursables depuis le 1er janvier 1930, à raison de 500 fr par titre, et échangeables contre des actions de jouissance coupon n° 3 attaché, créées jouissance du 1er janvier 1929.

L'intérêt statutaire de l'exercice 1929 afférent à ces actions sera payé, pour les actions au porteur, contre remise du coupon n° 6 estampillé lors de la présentation du titre au remboursement et, pour les actions nominatives, au moyen d'un chèque envoyé au titulaire du certificat.

Le compte de profits et pertes fait apparaître au crédit : un résultat d'exploitation de 8 799 437,78 fr, contre l'an dernier 8 644 919,34 fr ; d'autre part, une somme de 3 millions 084 716,88 fr, solde créditeur du compte d'intérêts et changes qui s'est élevé exceptionnellement à ce montant en raison du versement de 3 millions de francs effectué à la compagnie par l'Administration des Postes, Télégraphes et Téléphones.

Au débit figurent : les frais généraux, impôts et divers qui sont passés, par suite notamment de l'augmentation des impôts, de 1 094 065,99 fr à 1 318 650,38 fr ; les sommes que le conseil a affectées sur les résultats d'exploitation de l'exercice 1929 aux amortissements et provisions, soit : 1 722 500 fr au fonds d'amortissement du capital social ; 4 200 000 fr à la provision pour l'entretien et le renouvellement du matériel ; 240 000 fr comme provision pour participation de l'Etat,

Le bénéfice net de l'exercice 1929 est donc de 4 millions 403 004,28 fr.

Le prélèvement de 5 pour 100 à effectuer pour la réserve légale s'élève à 220 150,21 fr.

Le disponible est donc de 4 182 854,07 fr.

Sur cette somme, les 105 470 actions de capital non amorties ont droit à l'intérêt statutaire de 6 pour 100.

Le même dividende revient également aux 3 380 actions de capital amorties et appelées au remboursement depuis le 1er janvier 1930.

Soit au total 3 265 500 fr.

Sur le surplus, soit 917 354,07 fr, le conseil a droit à sa part statutaire de 10 pour 100, soit 91 735,40 fr.

Il reste une somme de 825 618,67 fr à laquelle il y a lieu d'ajouter le report de l'exercice précédent, s'élevant à 187 159,25,fr,ce qui donne un total de 1 012 777,92 fr qui est réparti à concurrence de 760 000 fr conformément à l'article 43 des statuts : 75 pour 100 aux 105 470 actions de capital et aux 8 530 actions de jouissance, soit 570 000 fr ; 25 pour 100 aux parts de fondateurs, soit 190 000 fr.

Il reste ainsi à reporter à nouveau 252 777,92 fr.

Le dividende brut est de : 35 fr pour les actions de capital restant à amortir avant la date du dernier tirage, soit le 20 novembre 1929 ; 5 fr pour les actions de jouissance ; 3,166 fr pour les parts.

Ces dividendes sont payables, sous déduction des impôts, à partir du 1er juillet 1930.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929

Actif.

	fr
Frais de constitution	3 217 162,26
Participations et cautionnements	18 440 »
Domaine privé de la compagnie	1 655 555,73
Terrains, constructions, installations (comptes de premier établissement)	57 395 816,54
Travaux d'extension	664 319,21
Travaux en cours	13 075 915,28
Magasin	784 088,77
Débiteurs	8 051 778,23
Caisse et comptes courants	4 138 057,84
	89 001 133,86

Passif.

	fr
Capital social :	
105 470 actions non amorties (actions de capital)	52 735 000 »
8 530 actions amorties (actions de jouissance)	4 265 000 »
Réserve égale	1 123 326 »
Fonds d'amortissement du capital social :	
Montant nominal des actions rachetées	3 000 000 »
Montant disponible	1 724 000 »
Amortissements et provisions	11 833 000 »
Créditeurs	9 730 644,31
Report de l'exercice précédent	187 159,25
Bénéfice net de l'exercice	4 403 004,28
	89 001 133,86

Nord-Lumière (Le Triphasé).

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 17 JUIN 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 166 666 000 fr et dont le siège social est à Paris, 3, rue de Messine, nous extrayons les renseignements qui suivent :

L'année 1929 a été caractérisée par une progression très importante des ventes d'énergie : 20 pour 100 par rapport à 1928 déjà en progression de 18 pour 100.

C'est surtout pendant la première partie de l'année que l'accroissement a été particulièrement accentué; le mouvement s'est ralenti depuis, correspondant ainsi à un fléchissement général de l'activité économique; toutefois, la plus value a continué à se manifester, non seulement pour la fin de l'année 1929, mais pour le commencement de l'année 1930.

Le nombre total des abonnés est passé de 169 500 à 185 400, augmentation d'environ 9,5 pour 100; il est à noter que le nombre des abonnés d'éclairage représente 95 pour 100 du total, alors que leur consommation ne représente que 10 pour 100 de la consommation totale (1).

Le nombre des communes alimentées directement est passé de 239 à 248 pour une population de 728 000 habitants; la longueur des canalisations est passée de 3 434 km à 3 788 km.

En même temps que la société développe son réseau, elle s'attache à assurer le meilleur service avec le maximum de régularité Le remplacement systématique des poteaux en bois par des poteaux en béton armé se poursuit; les dispositifs de sécurité sont multipliés. Aux réseaux à moyenne tension se superpose un réseau à 60 000 v qui augmente la capacité de transmission d'énergie.

On peut voir dans le bilan la trace de ces efforts : le compte de premier établissement est en augmentation de plus de 43 millions de francs, alors que l'effort de l'exercice précédent n'avait pas dépassé 26 millions de francs.

(1) Voir *Revue générale de l'Électricité*, 17 août 1929, t. XXVI, p. 263.

La politique de prudence suivie par la société a permis d'éviter de recourir à des emprunts onéreux, et celle-ci a même remboursé son seul emprunt 6 pour 100. La création de l'Union d'Electricité a, d'autre part, facilité la tâche de la société en la dégageant des charges qu'eût entraînées le développement des moyens de production.

Le portefeuille, composé uniquement de valeurs électriques intéressant la région parisienne, continue à donner entière satisfaction tant par le développement de ses revenus que par l'affermissement d'une politique de solidarité. En particulier, l'Union d'Electricité a porté son dividende de 10 pour 100 à 11 pour 100 en 1929. Sa production a dépassé le milliard de kilowatts-heures.

La Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité, par les accords intervenus avec la Ville de Paris, a vu sa concession prorogée jusqu'en 1962, c'est-à-dire à la même date que les secteurs de la région parisienne; son dividende a été de 65 fr.

Le dividende de l'Ouest-Lumière payé en 1929 a été de 20 pour 100; celui de l'Est-Lumière également de 20 pour 100; le Nord-Est parisien a donné un dividende de 14 pour 100 et la Société andelysienne d'Electricité, un dividende de 10 pour 100.

Le compte de profits et pertes, au 31 décembre 1929, se présente comme il suit :

Le produit de l'exercice ressort à 53 458 234,59 fr.

Il est affecté au fonds d'amortissement une somme de 17 213 846,51 fr.

Il reste ainsi pour l'exercice 1929 un solde créditeur de 36 244 388,08 fr qui, avec le report de l'an dernier, soit 1 million 886 232,69 fr, donne un total à répartir de 38 millions 130 620,77 fr.

La répartition est effectuée comme il suit : à la réserve légale, 5 pour 100 du solde bénéficiaire de 1929, soit 1 million 812 219,40 fr; premier dividende de 5 pour 100, 4 millions 791 650 fr; fonds pour éventualités diverses, 10 000 000 fr; 12 pour 100 du surplus du solde bénéficiaire de 1929 au conseil d'administration, soit 2 356 862,24 fr; deuxième dividende de 13 pour 100, 17 333 290 fr.

Le reste, soit 1 836 599,13 fr, est reporté à nouveau.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Frais de premier établissement et de constitution	1 »
Compte de premier établissement comprenant : tableaux, sous-stations, réseaux, compteurs, etc.	246 420 652,80
Approvisionnements et marchandises	7 031 013,39
Caisse, débiteurs, banquiers et divers	67 713 581,08
Actionnaires : solde restant à appeler sur actions non libérées	53 250 000 »
Valeurs en portefeuille	90 714 538,62
Primes de remboursement et frais d'émission	1 »
	468 129 787,89

Passif.

	fr »
Capital	166 666 000 »
Obligations à 4,50 pour 100 non remboursées	4 616 000 4
Réserve légale	5 911 480,9
Fonds d'amortissement	127 250 000 »
Fonds pour éventualités diverses	40 000 000 »
Primes d'émission des actions	11 250 000 0
Créditeurs divers	72 346 752,68
Coupons à payer et obligations à rembourser	1 958 933,5
Profits et pertes :	
Report à nouveau de 1928	1 886 232,69
Solde créditeur de 1929	36 244 388,08
	468 129 787,89

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR : **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF : **Ad. CURCHOD**, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 19. — 8 NOVEMBRE 1930.

Chronique. — Société des Ingénieurs civils de France : Séance du 10 octobre 1930, p. 713. — Bibliographie : Oesterreichs zukünftige Energiewirtschaft (Les perspectives d'avenir de l'électrification de l'Autriche), par Richard HOFBAUER, p. 174.

Congrès de l'Union internationale de Tramways, de Chemins de fer d'Intérêt local et de Transports publics automobiles (Varsovie, 29 juin-6 juillet 1930), p. 715.

Section scientifique et technique. — Unités et définitions adoptées par l'Assemblée plénière de la Commission électrotechnique internationale tenue en Scandinavie en 1930, par A.-E. KENNELLY, traduit de l'anglais, par L. VELLARD, p. 719. — Observations sur les décisions de la Commission électrotechnique internationale concernant les unités magnétiques, par E. BRYLINSKI, p. 722. — Revues, analyses et informations : Recherches sur les figures de de Heen et l'effluve électrique, p. 725; Les énergies des électrons dans les gaz, p. 727.

Section industrielle. — Etude d'un réseau à 400000 volts, par Georges VIEL, p. 729. — Les accumulateurs électriques d'après les brevets récents (*suite*), par L. JUMAU, p. 744. — Revues, analyses et informations : Radiodiffusion en France de l'atterrissage des aviateurs Costes et Bellonte aux Etats-Unis, p. 752; Théorie générale des machines électriques, p. 752.

Section économique et financière. — Les prestations en nature, le plan Dawes et le plan Young, p. 753. — Revues, analyses et informations : Un programme économique d'électrification pour l'Europe, p. 759. — Assemblées générales : Compagnie électrique du Nord, p. 759.

Société des Ingénieurs civils de France : Séance du 10 octobre 1930. — L'ordre du jour de cette séance portait deux communications techniques : *Nouvelles méthodes de calcul de la puissance variable d'une installation de chauffage central fonctionnant en régime discontinu*, par A. NESSI, et *Nouvelle théorie du tirage naturel, prévision et fonctionnement d'une cheminée accouplée à un circuit de chauffage*, par M. VÉRON.

Dans la première de ces communications M. A. Nessi a exposé les résultats des travaux qu'il a effectués ces dernières années en collaboration avec M. L. Nisolle en vue de substituer à l'empirisme une méthode scientifique pour la détermination de la puissance qu'il convient de donner à une installation de chauffage central fonctionnant d'une manière intermittente. Nous nous bornerons à signaler cette étude qui sort du domaine de cette revue.

La seconde communication présente au contraire un intérêt tout particulier pour ceux de nos lecteurs qui possèdent ou font construire des usines génératrices thermiques ; en voici le résumé.

COMMUNICATION DE M. M. VÉRON. — L'auteur rappelle tout d'abord que c'est à M. Henri Tripier que revient le mérite d'avoir posé le premier en principe qu'une théorie du tirage doit être basée sur la loi générale de la dynamique des fluides; plus tard, M. Daubresse, professeur à l'Université de Louvain, s'inspira des mêmes principes et mit sur pied une méthode riche en idées nouvelles. Dans l'établissement de sa théorie du tirage naturel, M. Véron a fait de larges emprunts à ces deux derniers travaux.

1. L'équation fondamentale servant de point de départ à cette théorie est celle du mouvement permanent d'un fluide dans une portion de canal comprise entre deux sections 1 et 2 et qui s'écrit

$$(z_2 - z_1) + \int_{p_1}^{p_2} v\,dp + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \int_1^2 dh = 0,$$

z désignant l'altitude comptée au-dessus d'un plan horizontal quelconque; v, le volume spécifique du fluide; p, sa pression et V, sa vitesse apparente, tous ces facteurs représentant des moyennes dans les sections considérées.

Cette équation ne fait d'ailleurs que traduire le principe de la conservation de l'énergie. Elle exprime que, pour l'unité de poids de fluide, l'énergie potentielle de pesanteur (premier terme), l'énergie élastique et l'énergie cinétique (deuxième et troisième termes) admettent une somme constante en négligeant les pertes de charge par frottements et tourbillons, qui sont représentées par le dernier terme. Appliquée entre l'entrée E de l'air au cendrier et la sortie S des fumées au sommet de la cheminée, cette équation donne la relation

$$H_E^S + \frac{V_S^2 - V_E^2}{2g} + h_E^S = \int_S^E v\,dp = v_{moy}\,(p_E - p_S),$$

qui met en évidence que le travail nécessaire pour élever un kilogramme de gaz jusqu'à l'orifice d'évacuation (premier terme), pour lui imprimer son énergie cinétique (deuxième

terme), et pour vaincre les frottements (troisième terme), est fourni par le travail de la pression motrice $p_E - p_S$ sur le volume spécifique moyen v_m. Il est grand si v_m ou $p_E - p_S$ le sont.

Etant donné la haute température des gaz résultant de la combustion, leur volume spécifique moyen est très grand, de sorte qu'il suffit d'une faible différence de pression entre l'entrée de l'air et la sortie des fumées pour faire agir sur l'unité de poids de gaz une force capable de compenser les trois sortes de travaux énoncés ci-dessus.

A noter que les pressions intérieures au circuit s'équilibrent avec la pression de l'atmosphère ambiante aux deux extrémités du circuit, c'est-à-dire à l'entrée du cendrier et au sommet de la cheminée. (En effet, on n'observe aucun appel latéral des gaz à la sortie, par temps calme.)

Pour pouvoir expliciter la relation fondamentale précédente, il faut connaître la loi de correspondance des volumes spécifiques v et des pressions p. Pour cela il suffit de repérer la correspondance entre les températures et les pressions aux différents points du circuit.

Le diagramme des pressions le long du circuit fait apparaître que la somme des chutes de pression élémentaires par variation d'altitude, de vitesse et par frottements entre l'entrée E et la sortie S du circuit, est égale à la différence de pression extérieure $H\varpi$, résultant de la différence d'altitude qui existe entre l'entrée du foyer et le sommet de la cheminée, ϖ étant le poids spécifique de l'air ambiant. C'est cette différence de pression totale, $H\varpi$, qui assure le tirage.

Il ne faut pas la confondre avec la différence d des pressions extérieure et intérieure à la base de la cheminée. appelée souvent dépression. Cette dernière est la fraction de $H\varpi$ qui est absorbée par la circulation dans le foyer, dans les surfaces de chauffe et dans les carneaux. Or, cette circulation, indispensable aux échanges de chaleur, est l'effet utile recherché. L'auteur appelle d la dépression utile.

Le reste, $H\varpi - d$, est absorbé par le fonctionnement de la cheminée elle-même, c'est-à-dire essentiellement par le travail d'élévation du gaz, rançon de la nécessité fondamentale qu'il y a de placer la sortie dans une région élevée de l'atmosphère. C'est en somme la dépression sacrifiée.

Le planimétrage du diagramme (p, v) établi dans ces conditions permet de déterminer le volume spécifique moyen des gaz dans le circuit.

2. L'auteur étudie ensuite divers problèmes en scindant cette étude en deux parties distinctes, l'une concernant le circuit de chauffage jusqu'au carneau, l'autre, la cheminée.

Le premier de ces problèmes est la dépression totale engendrée par le passage d'un débit donné de gaz à travers un circuit de chauffage. Le second est la détermination des dimensions de la cheminée capable d'assurer économiquement le tirage d'un débit donné de gaz. L'étude de ce dernier montre que la hauteur totale d'une cheminée peut, au point de vue de son effet utile, être décomposée en deux parties : l'une est la valeur à laquelle pourrait se réduire la hauteur si la vitesse des gaz et le débit étaient nuls (c'est la hauteur statique), l'autre est la hauteur qui assure une circulation effective des gaz (l'auteur l'appelle « surhauteur dynamique »). Cette seconde partie est en général assez faible vis-à-vis de la hauteur statique : par exemple 2,70 m contre 25 m. Cette étude montre aussi qu'il y a intérêt à diminuer la vitesse des gaz dans la cheminée, donc à donner à celle-ci (quand on le peut) une forme évasée. Il y a lieu de signaler que les résultats du calcul des dimensions d'une cheminée sont très sensibles aux erreurs faites sur la détermination du poids spécifique moyen des gaz ; par suite, il faut déterminer ce poids spécifique avec le plus grand soin. Il faut également noter qu'il est nécessaire de prendre pour bases du calcul les valeurs des diverses quantités envisagées dans ce calcul qui correspondent à l'allure de marche maximum ; on ne doit pas partir des caractéristiques de l'allure moyenne et majorer ensuite « à l'estime » les dimensions calculées, car on trouve que l'effet de ces « coups de pouce » peut être disproportionné avec ce qu'on en attend, surtout en ce qui concerne la section : une augmentation de 50 pour 100 de la section (qui entraînera un supplément de dépenses énorme) pourra ne donner qu'une augmentation de 8 pour 100 sur le débit.

3. Dans la dernière partie de sa communication M. Véron examine quelques-unes des anciennes formules de tirage et montre que, bien qu'elles présentent des défauts théoriques graves, elles ne donnent pas des erreurs considérables sur la hauteur. Par contre, les erreurs sur la section sont beaucoup plus grandes. D'autre part, même importantes, ces erreurs n'ont qu'une faible influence sur le fonctionnement normal de l'installation ; c'est sans doute la raison pour laquelle les anciennes formules ont pu être utilisées jusqu'ici.

« Mais, ajoute l'auteur comme conclusion, si le fonctionnement est assez peu affecté par des erreurs notables sur les dimensions, et surtout sur la section, ces erreurs peuvent être très onéreuses quand elles sont par excès.

» Il y a certainement de grosses économies à faire en limitant la section à la valeur strictement suffisante. Il importe de ne pas perdre de vue que, par temps calme, la section n'intervient que par les frottements et refroidissements dans la cheminée. Or, ces facteurs sont relativement secondaires, à telle enseigne que les anciennes formules n'en tiennent nul compte.

» Il en résulte que, par temps calme, une cheminée « tire » à raison de sa hauteur, et que sa section est dans une certaine mesure indifférente. Par temps agité, la section intervient par la vitesse de sortie, qui doit être suffisante pour vaincre le vent.

» Les sections trop larges sont donc non seulement inutilement coûteuses, mais encore nuisibles en cas de mauvais temps, car la vitesse de sortie, trop réduite, peut être rendue incapable de lutter contre les vents plongeants. »

Bibliographie : Oesterreichs zukünftige Energiewirtschaft (Les perspectives d'avenir de l'électrification de l'Autriche), par Richard Hofbauer (1). — Cette publication, entreprise sous les auspices du Kuratorium-Ausschuss « Energiewirtschaft », donne un état détaillé, d'une part, des disponibilités de l'Autriche en combustibles et en énergie hydraulique et, d'autre part, des débouchés possibles de l'énergie électrique.

L'auteur expose ce qui a été fait jusqu'à maintenant pour tirer parti des ressources d'énergie et, en ce qui concerne l'utilisation de l'énergie électrique, il considère les diverses industries, l'agriculture, les applications domestiques, les réseaux de traction et fait ressortir l'importance relative de chacun de ces éléments qui interviennent dans une étude d'ensemble d'électrification. — A. C.

(1) Une brochure, format 21 cm × 15 cm, de 88 pages et tableaux hors texte, éditée par la librairie Julius Springer, 23-24, Linkstrasse, à Berlin, W. 9. Prix : broché, 2,80 marks.

Congrès de l'Union internationale de Tramways, de Chemins de fer d'Intérêt local et de Transports publics automobiles (Varsovie 29 Juin-6 Juillet 1930)

L'Union internationale de Tramways, de Chemins de fer d'Intérêt local et de Transports publics automobiles a tenu son vingt-deuxième Congrès international à Varsovie, du 29 juin au 6 juillet 1930. La séance d'ouverture eut lieu à l'Hôtel de Ville de Varsovie, le lundi 30 juin, et le Congrès commença immédiatement la discussion des rapports dont nous donnons ci-après un compte rendu sommaire précédé d'un aperçu sur les diverses manifestations organisées en l'honneur des congressistes.

I. **Fêtes et excursions organisées à l'occasion du Congrès.** — Le vingt-deuxième congrès de l'Union internationale de Tramways, de Chemins de fer d'Intérêt local et de Transports publics automobiles s'est réuni à Varsovie du 29 juin au 6 juillet 1930.

Le nombre des participants était de 336, appartenant à 18 nations différentes et à la ville de Dantzig. En tête, parmi les nations étrangères, venaient les Français au nombre de 75.

L'arrivée des congressistes à Varsovie était prévue pour le dimanche 29 juin. Le lendemain, à 9 heures, eut lieu, dans la grande salle de l'Hôtel de Ville, sous la présidence de M. Slawek, président du Conseil des Ministres, assisté de M. Alphonse Kuhn, ministre des Communications, la séance solennelle d'ouverture du congrès, suivie de la première séance technique.

Les autres séances, y compris celle de clôture, se tinrent au siège de l'Association technique. Il y a lieu de signaler, à ce propos, que des récepteurs téléphoniques reliés à un microphone avaient été installés au dos des chaises de la salle des séances. Devant ce microphone des traducteurs reproduisaient en allemand les discours prononcés en français et réciproquement.

Dès le premier soir du congrès eut lieu le banquet officiel offert par la Compagnie municipale des Tramways, dans les salons de « Dolina Szwaycarska ». Pour la délégation française, c'est M. David, inspecteur général du Contrôle des Voies ferrées d'Intérêt local au Ministère des Travaux publics, qui en l'absence de M. Grimpret, directeur général des Chemins de fer, président de la délégation, prononça le discours. Au nom du Conseil municipal et de la Ville de Paris, M. Maurice Quentin tint à ajouter ses remerciements à ceux du représentant officiel de la délégation.

Le mercredi, à 18 heures, après la séance de clôture de l'assemblée, les congressistes avaient été conviés par M. Ignacy Moscicki, président de la République polonaise, à une réception au Zamek ou ancien Palais royal, où il a établi sa résidence.

Trois excursions avaient été proposées au choix des congressistes. L'une d'elles comportait un voyage vers le sud-est de la Pologne, à proximité des Carpathes et non loin des frontières tchécoslovaques et roumaines. Le trajet en chemin de fer était de 1410 km.

Le départ de Varsovie eut lieu le mercredi 2 juillet à 23 heures. Au cours d'un arrêt à Boryslaw, les congressistes furent invités à parcourir les installations de l'usine de la Société Malopolska, groupe des sociétés françaises des pétroles. Ils visitèrent l'usine thermique électrique de 15 000 ch, installée par la société et qui fournit l'énergie électrique non seulement à toutes les usines du groupe dans la région de Boryslaw, mais encore alimente un grand nombre d'entreprises étrangères, notamment celles de l'éclairage de villes telles que Boryslaw, Drohobycz, Stryj. Rappelons qn,à Boryslaw, on extrait à la fois du pétrole, du gaz de pétrole et de l'ozokérite ou cire fossile appelée encore paraffine naturelle.

Les congressistes visitèrent ensuite l'usine Polmin, raffinerie de pétrole appartenant à l'Etat polonais. Cette usine traite chaque année 300 000 t de pétroie brut.

Après deux heures de trajet les congressistes arrivèrent à Lwow, comme dernière étape de la journée. Le lendemain, après une visite de la ville, ils s'embarquaient pour Cracovie où ils arrivaient dans la soirée à 23 heures.

Le samedi 5 juillet, à 9 heures, les congressistes commencèrent la visite des principales curiosités de la ville, notamment le palais et la cathédrale du Wawel. Ce matin-là ils furent les hôtes de la direction de la Société anonyme des Tramways de Cracovie, au Grand-Hôtel.

La visite aux Mines de sel de Wieliczka était inscrite au programme et eut lieu dans l'après-midi du même jour avec d'autant plus de facilité et d'agrément que l'invitation venait de l'administration de ces mines. Notons à titre de renseignements statistiques que ces mines occupent actuellement 1 700 ouvriers et que l'extraction annuelle atteint 170 000 t de sel pouvant satisfaire aux besoins de plus des trois quarts des populations polonaises.

Au retour, le soir, eut lieu le banquet offert par la Municipalité de Cracovie et le lendemain matin le départ pour Poznan.

A 11 heures avait lieu, en présence d'une nombreuse et brillante assistance, la cérémonie de l'inauguration officielle de l'Exposition internationale de Transport et de Tourisme par M. A. Kuhn, ministre des Communications, et à laquelle assistèrent tous les membres du Congrès présents à Poznan.

Les congressistes avaient été spécialement invités par la Direction des Tramways de Poznan à visiter après le banquet, dans l'enceinte de l'exposition, le pavillon d'assistance sociale organisé par elle pour les agents de ses exploitations. Après cette visite, les congressistes se rendirent à la maison des employés de tramways, qui, en dehors du théâtre, de la bibliothèque et d'autres salles de réunions, renferme toutes les œuvres réservées à l'enfance, notamment une école maternelle pourvue de tout le matériel pédagogique désirable et qui réunit 35 enfants.

En ce qui concerne les employés, une société de secours mutuels, fondée en 1922, avec le concours pécuniaire et l'assistance morale de la Direction, est maintenant en pleine prospérité et des institutions annexes ont donné à cette institution un développement remarquable. Une coopérative fut fondée au moment de l'inflation et rendit les plus grands services. La bibliothèque compte 2500 volumes. La caisse de secours accorde des subventions en cas de maladie ou de décès d'un membre de la famille et aussi facilite les emprunts reconnus nécessaires.

La réception offerte le même soir au château royal par M. Alphonse Kuhn, ministre des Communications, assisté de Mme Alphonse Kuhn, fut des plus brillantes et des plus animées.

Cette manifestation clôtura avec un vif éclat la série des fêtes figurant au programme officiel du Congrès, dont elle marqua ainsi virtuellement la fin.

Le lundi matin les congressistes pouvaient assister successivement à la conférence de M. Rochat, directeur général honoraire de la Compagnie genevoise de Tramways électriques, sur les automobiles de la poste, sur les routes de montagnes de la Suisse et à la conférence de M. Luis Stefani, commissaire de l'Azienda de Governatorato, de Rome, sur les services des autobus et des tramways à Rome.

Ils étaient ensuite invités à visiter les ateliers de fabrication de locomotives et de wagons de la Société anonyme H. Cegielski et, après le déjeuner, la dislocation eut lieu, la presque totalité des congressistes prenant le train dans l'après-midi.

II. Travaux techniques. — A. Questions générales.

— 1. ETUDE COMPARÉE DES CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL EN SOUTERRAIN ET A LA SURFACE DU SOL. Rapport de M. JAYOT, directeur général des Transports, de l'Extension et de l'Inspection générale à Paris. — L'auteur montre le développement croissant du réseau de la Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris et le compare, au point de vue économique, aux transports en commun à la surface.

Dans les conditions économiques actuelles, pour que le capital engagé dans la construction d'une ligne puisse recevoir une rémunération de 6 pour 100, et en tenant compte des charges financières à environ 7 pour 100, on trouve que, dans l'hypothèse des tarifs actuels de la compagnie précitée, il faut que le nombre de voyageurs, par kilomètre et par jour, soit d'environ 28 000.

2. COMPARAISON DES TRANSPORTS EN COMMUN : CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL, TRAMWAYS ET OMNIBUS AUTOMOBILES. Rapport de M. NESTRYPKE, ingénieur, directeur des Tramways de Poznan, Pologne. — D'après l'auteur, l'exploitation par omnibus est, en général, économiquement moins favorable, à égalité de tarif, que l'exploitation par tramway. L'omnibus ne semble pas fait pour les transports de grosses masses ; il lui appartient de desservir les zones peu peuplées. L'omnibus à trolley paraît être l'intermédiaire entre l'omnibus thermique et le tramway, tandis que le chemin de fer urbain souterrain trouve sa place dans la ville surpeuplée et congestionnée. Il faut de toute nécessité que ces moyens de transports collaborent entre eux parce qu'ils se complètent mutuellement.

D'après l'auteur du rapport, la consommation rapportée à une tonne-kilomètre est en moyenne de 70 watts-heures pour les tramways, et de 0,059 l de carburant pour les omnibus.

Au point de vue de l'utilisation de la chaussée, il trouve que la surface occupée par un voyageur dans les différents modes de transport est la suivante :

Automobiles à 2 places (minimum)...	9,75 m²
Automobiles à 45 places.....	0,81 m²
Tramways à 70 places.....	0,64 m²
Trains de 2 tramways à 140 places...	0,50 m²

L'encombrement des rues provenant du grand nombre d'automobiles à 2 places, il faut avoir recours à une réglementation du trafic.

D'après l'auteur, les vitesses du tramway et de l'omnibus ressortent en moyenne aux nombres suivants, en kilomètres par heure :

	Tramway.	Omnibus.
En ville.....	11,200	13,200
Dans les faubourgs...	15,900	16,600
Hors de la ville.....	20	21,700

Les nombres de voyages annuels, par tête d'habitant, seraient les suivants :

Londres.....	510
Berlin	444
Vienne.....	395
Paris	368
Budapest.....	347
Hambourg.....	308
Barcelone	257
Varsovie.....	241

B. **Matériel roulant.** — 1. AUTOMOTRICES A ACCUMULATEURS. Rapport de M. LO BALBO, direttore dell Esercizio Compagnia generale dei Tramvie piemontesi. — D'après l'auteur, les prix de revient seraient dans les rapports suivants :

Traction à vapeur.....	5
Automotrices à benzol.....	5,5
Automotrices à accumulateurs.....	2,5

Au cours de la discussion, plusieurs membres ont fait observer que le chiffre de 5,5, indiqué pour les automotrices à benzol paraissait exagéré.

2. Emploi de moteurs a huile lourde sur voies ferrées et sur routes. Rapport de MM. Arnold, general Direckor et Eichelhardt, Oberingenieur der. Vestischen Kleinbahnen G. m. b. H. — Les locomotives employées en Russie et en Allemagne sont à transmision électrique, mécanique, pneumatique ou hydraulique. Les automotrices construites par les soins de l'Administration des Chemins de fer d'Etat allemands sont à transmission mécanique à 2 ou 4 essieux. Elles parviennent à remorquer 4 voitures d'attelages ; le train de 400 places constitue la limite extrême après laquelle il est plus économique d'adopter la traction à vapeur. Sur les voitures de poids lourd, on a adopté depuis longtemps un moteur Diesel sous ses trois principales formes de réalisation : moteur à injection pneumatique, moteur à antichambre, et moteur à réserve d'air.

Les constructeurs sont tous Allemands ou utilisent des licences allemandes.

D'après l'auteur, le moteur Diesel procure, par rapport à un moteur à essence, une économie de combustible de 20 à 25 pour 100 en poids, ce qui, dans le cas d'huile raffinée, équivaudrait à une économie de 50 pour 100 sur les prix de l'essence, et, dans le cas d'huile brute, à 70 pour 100 d'économie. On peut donc dire que les dépenses de combustible sont diminuées de 50 à 60 pour 100 grâce à l'utilisation du moteur Diesel dans la traction automobile. L'auteur cite l'exemple de l'automotrice Diesel électrique Sulzer de la ligne d'Appenzell à Hérisau. Cette automotrice est établie pour voie d'un mètre et équipée avec un moteur à 6 cylindres, 250 chevaux, 625 t : mn. Le démarrage s'effectue par alimentation de la dynamo au moyen d'une batterie d'accumulateurs.

L'un des membres du Congrès a appelé l'attention sur les constructeurs français qui fabriquent des moteurs à huile lourde.

3. Développement de l'équipement électrique du matériel roulant (moteurs suspendus, a grande vitesse, ventilés et compound). Rapport de M. Werner, Vizedirecktor der Wiener städtischen Strassenbahnen. — L'auteur s'est limité à l'étude des moteurs à grande vitesse qu'il définit comme étant des moteurs disposant d'une réserve de puissance habituellement inutilisée, et qui exigent une très forte démultiplication (moyenne 1/6). Ces moteurs sont d'ailleurs encore au stade d'essais. La vitesse de régime peut varier entre 1 000 et 1 800 t : mn. Ils sont ventilés et on a imaginé un dispositif ingénieux pour empêcher la pénétration des poussières de l'extérieur. Les engrenages sont, la plupart du temps, trempés et rectifiés.

La partie électrique du moteur à grande vitesse semble avoir trouvé une solution satisfaisante.

Le rapporteur n'ayant pas traité des moteurs à excitation compound et de leur utilisation en vue de la récupération d'énergie électrique, M. Bacqueyrisse, directeur général de l'Exploitation et des Services techniques de la Société des Transports en commun de la Région parisienne a rendu compte d'essais tout récemment entrepris à Paris, de voitures équipées avec moteurs compound à grande variation de vitesse en vue de la récupération, équipements qui ont permis de réaliser une économie d'énergie électrique de 25 pour 100.

Un grand nombre de congressistes ayant été très intéressés par cette question, il a été décidé qu'une réunion se tiendrait à Paris les 21 et 22 octobre 1930 pour procéder à une étude plus complète et à des essais avec le matériel mis au point par la Société des Transports en commun de la Région parisienne.

4. Perfectionnements apportés dans la construction du matériel roulant sur voies ferrées et sur routes. Rapport de M. Kremer, Direktor der Strassenhahnen und der Omnibusse der Stadt Frankfurt-am-Main. — L'auteur indique qu'il faut adopter le poste fixe de receveur et la voiture à 1 ou 2 agents, de capacité faible ou moyenne sur les lignes moyennes, et la voiture de grande ou très grande capacité, pour les lignes chargées ; c'est en effet le salaire du personnel roulant qui devient, en l'espèce, le facteur prépondérant.

Avec les grandes capacités on est amené à guider le flot des voyageurs et à imposer un sens de circulation à l'intérieur des voitures. Le nombre de portes et leur emplacement varient suivant le sens de circulation adopté. Les portes d'entrée sont plus nombreuses ou plus larges que les portes de sortie.

L'auteur signale également l'intérêt qu'il y a à étouffer les bruits à leur point d'origine au moyen d'expédients dont l'accumulation se traduit par un silence appréciable.

5. Expériences nouvelles relatives au freinage des voitures de tramways. Rapport de M. Pforr, Direktor der Berliner Verkehrs Aktien-Gesellschaft. — L'auteur rend compte des essais de freinage pneumatique et rhéostatique. Il indique les raisons de supériorité du freinage électrique pour toutes les vitesses supérieures à 7 km : h ; la distance d'arrêt est très notablement réduite ; le frein n'exige aucune timonerie, ne nécessite aucun entretien et ne se dérange jamais. Le courant qu'il emploie peut servir au chauffage de la voiture. Comme inconvénient, on trouve qu'il ne peut fonctionner automatiquement en cas de rupture d'attelage ; il exige des moteurs plus puissants et plus largement calculés.

C. Construction de la voie et de la ligne aérienne. — 1. Voies de tramways et structure de la plate-forme. Rapport de M. d'Alo, direttore generale dell Azienda Tramviaria e direttore dei trasporti del Commune di Milano. — Les tramways sur plate-forme indépendante ont l'avantage d'une grande économie d'installation et d'entretien, et facilitent la circulation, tout en accélérant la vitesse des voitures.

La construction de voies en chaussées s'achemine vers une rigidité de plus en plus grande obtenue par soubassement en béton et ancrages de plus en plus solides.

La soudure des joints a permis de corriger les points faibles des files de rails. Les rails sont en acier spécial. L'entretien régulier de la voie permet de réduire sensiblement les prix.

2. BLOCAGE DE LA VOIE PAR SIGNAUX AUTOMATIQUES POUR LES EXPLOITATIONS DE VOIES UNIQUES. Rapport de M. LANGE, Direktor Helsingborg Stads Spävägar. — L'auteur décrit un système de signalisation dont la ligne est parallèle aux fils de trolley, allumant des lampes de couleurs différentes, suivant la section dans laquelle se trouve la voiture.

3. EMPLOI DE MÉTAUX LÉGERS DANS LES INSTALLATIONS DE LIGNES AÉRIENNES. Rapport de M. SEKUTOWICZ, ingénieur, directeur des Services techniques de l'Omnium lyonnais à Paris. — Les matériaux légers pouvant servir à la fabrication des appareils de lignes aériennes sont le duralium, l'almosilium, le carbium, le magnésium et leurs dérivés. Les appareils intéressés sont les griffes de suspension du fil de trolley, les isolateurs de sections, les croisements et les aiguillages. On en est encore à la période d'essais ; ceux-ci semblent favorables.

C. Modes d'alimentation en énergie électrique. — MÉTHODES ET DISPOSITIFS D'ALIMENTATION EN ÉNERGIE D'UN RÉSEAU DE TRAMWAYS ÉLECTRIQUES. — Rapport de MM. H. COENS, ingénieur en chef du Service des Usines, Sous-stations et Distribution de la Compagnie des Tramways bruxellois, à Bruxelles, et A. ALLARD, ingénieur, directeur du Service de la Traction et du Matériel de la Société nationale des Chemins de fer vicinaux, à Bruxelles, — D'après les auteurs, l'emplacement des sous-stations est fonction des nécessités du réseau, mais il doit rester tel que la longueur des feeders ne dépasse pas 1,500 km. Le sectionnement du réseau devra permettre des alimentations par sources différentes à l'aide d'appareils faciles à manier, placés à l'intersection des zones d'alimentation.

Dans les circuits de retour, la surveillance des chutes de tension et du potentiel des rails doit retenir l'attention des exploitants.

Il faut prévoir également un moyen de vérifier à distance la position des appareils d'interconnexion disséminés le long des lignes aériennes.

L'automaticité complète avec commande à distance ou non se recommande pour les sous-stations de faible puissance, tandis que les avis sont variables pour les fortes puissances. L'économie est en effet plus grande dans le premier cas que dans le second : dans un réseau très dense, il ne faut pas beaucoup d'arrêts dans l'alimentation et par suite dans l'exploitation, pour que la perte de recette soit équivalente à l'économie réalisée par l'automaticité ; l'intervention du personnel est beaucoup plus rapide dans une sous-station à commande manuelle puisqu'il est sur place.

Les auteurs arrivent aux conclusions suivantes :

1° Aux faibles charges et pour les faibles puissances, ce sont les redresseurs à ampoules en verre qui ont le meilleur rendement; 2° aux très fortes charges et pour les puissances élevées, il paraît y avoir équivalence entre les redresseurs à corps métallique et les commutatrices ; 3° lorsque la charge est essentiellement variable, c'est le redresseur à corps métallique qui a le meilleur rendement.

D. Procédés d'exploitation. — 1. PROCÉDÉS ET ÉTUDES POUR FACILITER LE SERVICE DES VOYAGEURS. Rapport de M. L. BACQUEYRISSE, directeur général de l'Exploitation et des Services techniques de la Société des Transports en commun de la Région parisienne. — Il faut d'abord que le public connaisse toutes les ressources offertes par le réseau de transports et conçues pour lui rendre service. Renseignements placés en dehors des voitures, sous forme de plans, cartes, livrets, affiches, communications radiophoniques, illustrations cinématographiques, etc. ; renseignements placés à l'intérieur des voitures et relatifs aux horaires, aux itinéraires et aux tarifs.

Toutes les modifications aux services des réseaux doivent faire l'objet d'une publicité appropriée.

Les points d'arrêt sont déterminés par des considérations d'exploitation technique et commerciale. Leur écartement devient un facteur économique intéressant. On a calculé en effet que, dans les conditions économiques actuelles, les dépenses entraînées par un stationnement à un point d'arrêt sont les suivantes :

Pour une motrice seule.....	0,1366 fr
Pour un train de 2 voitures.....	0,2716
Pour un omnibus.....	0,2096

La question d'accès dans les voitures prend également une grande importance à l'heure actuelle, où l'on se préoccupe de réduire au minimum les temps de stationnement des voitures, d'une part pour augmenter la vitesse commerciale, d'autre part pour diminuer la gêne causée à la circulation générale.

L'auteur signale l'intérêt qui s'attache aux nouveaux modes de perception qui évitent la manipulation de monnaie par les receveurs et facilitent la tâche de ces derniers.

E. Phénomènes d'électrolyse. — ETUDE SUR LES PHÉNOMÈNES DE CORROSION ÉLECTROLYTIQUE. Rapport de M. PODOSKI, ingénieur, professeur à l'Ecole polytechnique de Varsovie. — L'auteur insiste surtout sur le fait que ce n'est pas la différence de potentiel entre les canalisations et le rail qui importe, mais la densité du courant qui emprunte les conduites enterrées ou les abandonne. Il conclut en demandant que les règlements soient modifiés conformément à ses conclusions. Il n'accepte pas le drainage comme moyen efficace. Les peintures isolantes n'ont aucun pouvoir et seuls les joints isolants au point de vue électrique permettent d'espérer une solution satisfaisante. — B. L.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Unités et définitions adoptées par l'Assemblée plénière de la Commission électrotechnique internationale tenue en Scandinavie en 1930

On sait qu'à la session plénière de la Commission électrotechnique internationale tenue en Italie en septembre 1927 fut nommé un sous-comité chargé de l'étude de la question de la dénomination des unités magnétiques (*) et dont la présidence fut confiée à M. Arthur-E. Kennelly qui, depuis près de quarante ans, représente l'American Institute of electrical Engineers dans les diverses réunions internationales où cette question fut discutée. On sait aussi que la correspondance échangée entre les membres de ce sous-comité conduisit ceux-ci à formuler quelques recommandations dans un rapport en date du 24 septembre 1929 (**) adressé au président du Comité d'Etudes de la Nomenclature, M. Mailloux. — A la session plénière qui se tint cette année en Scandinavie, ce dernier comité fut saisi de plusieurs autres propositions concernant les unités : proposition du Comité allemand tendant à donner le nom de Hertz à l'unité de fréquence d'oscillation, propositions du Comité roumain relatives à la puissance réactive. L'étude de ces nouvelles propositions fut confiée au sous-comité présidé par M. A.-E. Kennelly, qui prit le nom de Sous-Comité des Grandeurs et Unités électriques et magnétiques pour indiquer que ses attributions se trouvaient élargies et qui fut complété par la nomination de quatre nouveaux délégués représentant les comités nationaux d'Espagne, de Norvège, de Pologne et de Roumanie, ce qui portait à onze (***) le nombre des comités nationaux représentés dans le nouveau sous-comité. — Le compte rendu des travaux de ce sous-comité dans les séances qu'il tint à Stockholm a été récemment envoyé à ses membres à titre personnel et officieux par son président M. A.-E. Kennelly en attendant que paraisse un compte rendu officiel ; c'est ce compte rendu officieux qui est publié dans les lignes ci-dessous à la demande du Bureau central de la Commission électrotechnique internationale (****).

I. **Généralités.** — Le résumé de 113 pages imprimées, établi pour l'assemblée plénière de la Commission électrotechnique internationale, a été nécessairement élaboré hâtivement afin de pouvoir présenter aux délégués lors de la séance finale plénière, tenue à Oslo, un bref résumé des travaux que 19 comités d'études avaient accomplis durant une semaine occupée par des séances extrêmement chargées. Le rapport relatif aux unités électriques et magnétiques publié aux pages 16 et 17 du résumé est, par conséquent, extrêmement concis et incomplet, mais toute critique à ce sujet serait injustifiée en raison des circonstances particulièrement difficiles dues au temps réduit dont le secrétariat disposait au dernier moment. Un exposé plet du sujet doit être publié dans le rapport officiel de la réunion plénière de la Commission électrotechnique internationale, lequel ne pourra paraître que dans quelque temps. Il nous a donc semblé opportun de présenter dès actuellement un exposé personnel et de caractère officieux des travaux relatifs aux unités élaborés aux réunions de la Commission électrotechnique internationale.

Rappelons que c'est à la réunion plénière de la Commission électrotechnique internationale, tenue en 1927 à Bellagio, que cette commission fut amenée à s'occuper des unités magnétiques ; à cette session une proposition fut présentée par le Comité italien tendant à l'adoption d'une unité de flux magnétique Φ dans le système des unités pratiques ou système volt ampère-ohm, avec un certain nom bien défini. Cette proposition fut alors soumise à un sous-comité spécial du Comité d'Etudes de la Nomenclature, en vue d'un examen et de l'établissement d'un rapport. Ce comité spécial reçut le nom de Sous-Comité des Unités magnétiques ; il était constitué par un représentant de chacun des sept comités nationaux des pays suivants : France, Allemagne, Grande-Bretagne, Hollande, Italie, Etats-Unis et Russie.

(*) Commission électrotechnique internationale. Travaux du Comité d'Etudes de la Nomenclature. *Revue générale de l'Electricité*, 10 mars 1928, t. XXIII, p. 427-432, notamment p. 431.

(**) Ce rapport a été publié dans ces colonnes en annexe à l'étude suivante : A.-E. KENNELLY ; Les unités du circuit magnétique. *Revue générale de l'Electricité*, 14 juin 1930, t. XXVIII, p. 923-932. (Traduction de l'anglais par L. VELLARD).

(***) Signalons à ce propos que le sous-comité nommé à Bellagio comprenait sept membres et non six comme nous l'avons indiqué par erreur dans le compte rendu publié dans ces colonnes (*loc. cit.*, p. 432, au bas de la première colonne) : en rangeant les noms de ces membres dans l'ordre alphabétique nous avons omis celui de M. van de Well, délégué du Comité hollandais.

(****) Nous prions ceux de nos lecteurs qui estimeraient avoir des observations à présenter sur les résolutions adoptées par la Commission électrotechnique internationale de les adresser directement à M. Charles Duval, secrétaire du Comité électrotechnique français, 19, rue des Batignolles, Paris (17e).

Les membres du Sous-Comité des Unités magnétiques échangèrent courtoisement une correspondance importante sur le sujet; mais, toutefois, les divergences de vues furent telles qu'un accord ne pouvait être espéré. On décida, par conséquent, d'éclaircir la question à l'aide de mémoires et de discussions dans les divers pays et au sein des comités nationaux de la Commission électrotechnique internationale en vue de préparer les voies pour un accord international à la réunion plénière de 1930 en Scandinavie.

Le Sous-Comité des Unités magnétiques fut d'accord pour entreprendre une revision des unités C. G. S. adoptées à Paris en 1900. Dans ce but, il était d'abord nécessaire d'obtenir un accord international sur les définitions fondamentales des unités magnétiques C. G. S. et spécialement sur la définition de la perméabilité magnétique μ, au sujet de laquelle des divergences d'opinion se sont manifestées dans presque tous les pays.

Dans le vide ou dans un espace dépourvu de matière, on admet universellement qu'avec les unités C. G. S. une force magnétisante uniforme (ou intensité de champ) $\mathcal{H}$ produit une inductance uniforme $\mathcal{B}$ de même valeur numérique, de telle sorte que la *perméabilité spatiale* μ_0 ou le rapport $\frac{\mathcal{B}}{\mathcal{H}}$ dans le vide est égal à l'unité.

On a cependant beaucoup discuté sur la question de savoir si, en admettant qu'une force magnétisante $\mathcal{H}$ égale par exemple à 20 unités produit également dans le vide une induction $\mathcal{B}$ égale à 20, cette induction $\mathcal{B}$ est identiquement la même quantité physique que $\mathcal{H}$; ou encore de savoir s'il existe une différence au point de vue physique entre la force magnétisante $\mathcal{H}$ et la grandeur $\mathcal{B}$ qu'elle crée, bien que ces deux grandeurs aient même valeur numérique. Si la force magnétisante $\mathcal{H}$ et l'induction $\mathcal{B}$ sont identiques au point de vue physique, il n'est pas seulement superflu, mais aussi erroné, de les appeler par des noms différents et de leur donner des unités différentes. La même unité, le gauss, si elle est appliquée à l'une des grandeurs précitées doit nécessairement être applicable à l'autre. Si, au contraire, l'induction $\mathcal{B}$ diffère essentiellement de l'intensité de champ $\mathcal{H}$, alors il devient nécessaire d'avoir des unités différentes pour ces quantités, même si un accord ne peut être obtenu relativement aux dimensions absolues de $\mathcal{B}$ et de $\mathcal{H}$ exprimées en fonction de la longueur, de la masse et du temps.

II. **Décisions prises à Stockholm sur la question de la perméabilité.** — A la première réunion du Sous-Comité des Unités magnétiques, l'accord fut unanime entre les délégués pour admettre l'hypothèse selon laquelle les grandeurs $\mathcal{B}$ et $\mathcal{H}$ dans l'espace dépourvu de matière ont des dimensions physiques différentes; de telle sorte que leur rapport μ_0, la perméabilité spatiale, est une quantité dimensionnelle et non pas un nombre abstrait (dans le système C. G. S.).

On a admis également que le rapport $\frac{\mu}{\mu_0}$ de la perméabilité absolue d'une substance magnétique, telle que l'acier, à la perméabilité spatiale serait appelée la perméabilité relative et serait considérée comme un simple coefficient numérique. En conséquence, quand nous parlons de l'acier travaillant à une certaine force magnétisante et ayant une perméabilité absolue μ égale, par exemple, à 1 000, il s'agit d'une quantité dimensionnelle ayant les mêmes dimensions que la perméabilité spatiale μ_0; mais si nous disons que sa perméabilité relative $\frac{\mu}{\mu_0}$ est égale par exemple à 1 000, nous nous référons à un nombre abstrait.

III. **Formation du Sous-Comité des Grandeurs et Unités électriques et magnétiques.** — L'importance et le but du Sous-Comité des Unités magnétiques furent élargis par le Comité d'Etudes de la Nomenclature et ce sous-comité prit pour nouveau titre « Sous-Comité des Grandeurs et Unités électriques et magnétiques ». Des représentants de quatre comités nationaux furent adjoints à ceux désignés à Bellagio. Les comités nationaux des pays suivants se trouvent ainsi représentés : Allemagne, Espagne, Etats-Unis, France, Grande-Bretagne, Hollande, Italie, Norvège, Pologne, Roumanie et Russie.

IV. **Noms adoptés pour les unités magnétiques C. G. S.** — L'accord ayant été établi à l'unanimité sur la question de la perméabilité, le nouveau sous-comité a adopté les noms suivants pour les unités magnétiques C. G. S., sinon à l'unanimité, du moins à une très grande majorité.

Pour l'unité magnétique C. G. S. de :

Force magnétomotrice $\mathcal{F}$, le nom de gilbert;

Champ magnétique $\mathcal{H}$, le nom d'oersted;

Flux magnétique Φ, le nom de maxwell;

Induction magnétique $\mathcal{B}$, le nom de gauss.

En ce qui concerne le nom de l'unité de champ magnétique, il importait de tenir compte de l'observation du Comité national danois que, si le nom d'Oersted a été utilisé aux Etats-Unis pour désigner l'unité C. G. S. de réluctance, cette désignation n'a jamais été adoptée internationalement et qu'on doit tenir compte d'ailleurs qu'Oersted resta étranger à la question de la réluctance tandis qu'il a découvert l'existence du champ magnétique produit par un courant électrique. En conséquence, il était plus rationnel d'adopter le nom d'Oersted au point de vue international pour désigner l'unité d'intensité de champ $\mathcal{H}$ que pour désigner l'unité de réluctance $\mathcal{R}$ (1).

(1) A propos de l'adoption du nom d'Oersted pour désigner l'unité C. G. S. d'intensité du champ magnétique, il peut être intéressant de noter que le 27 juin, jour d'ouverture de la session, à Copenhague, une visite officielle eut lieu à la statue d'Oersted, qui s'élève dans un parc de la ville. Sur cette statue, Oersted est représenté observant la déviation d'une aiguille aimantée sous l'effet du courant d'une batterie de piles. Le président de la Commission électrotechnique internationale, M. Feldmann, déposa, au pied de la statue, une couronne de fleurs portant une inscription appropriée.

Les unités suivantes dans le système magnétique C. G. S. sont, pour le moment, laissées sans dénomination : réluctance, réluctivité, perméance et perméabilité ; ces unités sont d'ailleurs celles dont les dénominations ne semblent pas présenter beaucoup d'intérêt pour les ingénieurs électrotechniciens.

V. **Nom pour l'unité de flux magnétique dans le système pratique.** — En conformité avec la proposition faite en 1927 par le Comité italien, le Sous-Comité a adopté à l'unanimité une unité pratique de flux magnétique Φ ayant la valeur de 10^8 unités C.G.S. et portant le nom de *pramaxwell* ; le préfixe « pra » peut être considéré comme une contraction de l'adjectif anglais « practical », en français « pratique ».

L'adoption de ce préfixe comme applicable aux autres unités pratiques dérivées des unités correspondantes C. G. S. reçut également l'agrément général des membres du Sous-Comité. Mais, lors de la revision des résolutions du Sous-Comité par le Comité d'Etudes de la Nomenclature, on fit observer que, tandis que le pramaxwell défini comme il vient d'être indiqué était une unité de valeur bien définie ne pouvant donner lieu ni à confusion, ni à incompréhension, il pourrait en être autrement si on créait d'autres unités magnétiques pratiques au moyen de ce préfixe et des autres unités de la série des unités C. G. S. C'est ainsi qu'il pourrait y avoir incompréhension en utilisant le pragilbert, le praoersted et le pragauss ; ceci parce qu'il existe au moins trois systèmes différents d'unités pratiques reconnues aujourd'hui, c'est-à-dire : *a*) le système quadrant-10^{-11} gramme-seconde, de Maxwell ; *b*) le système mètre-kilogramme-seconde, de Giorgi ; *c*) le système centimètre-10^7 grammes-seconde, de Dellinger, Bennett, Karapetoff et Mie. De plus, on a prétendu parfois « rationaliser » chacun de ces trois systèmes dans l'électrotechnique moderne par le transfert du facteur 4π de la force magnétomotrice à la réluctance ; ainsi, il pourrait y avoir au moins deux valeurs possibles pour le pragilbert et six valeurs possibles pour le pragauss ; dans ces conditions, il a semblé désirable, pour le présent, de limiter au pramaxwell l'emploi du préfixe « pra » ; d'ailleurs, l'ampère-tour est une unité pratique de force magnétomotrice qui est depuis longtemps utilisée et ne présente aucune ambiguïté.

VI. **Unité de fréquence.** — Le Comité allemand a proposé l'adoption du nom de Hertz comme nom international de l'unité de fréquence, avec une valeur de 1 période par seconde ; mais il n'a pas été possible de retenir cette proposition qui est, par conséquent, renvoyée devant le Sous-Comité pour examen ultérieur.

VII. **Unités de puissance réactive pour circuits et réseaux à courant alternatif.** — Le nom de « var » a été adopté sur la proposition du Comité roumain pour l'unité pratique de puissance réactive dans un circuit à courant alternatif.

Ce nom de « var » peut être considéré comme une contraction du terme « volt-ampère-réactif ». Le diagramme des courants alternatifs représenté par un triangle rectangle aura alors pour base les watts, pour hauteur les vars et pour hypoténuse les volts-ampères. Du var, on fait dériver régulièrement le kilovar, soit 1 000 vars, grandeur susceptible d'être exprimée dans la forme contractée de « kvar ». Semblablement, le produit du var et de l'heure donne le « varheure », pouvant être exprimé par contraction sous la forme de « varh » et semblablement, le kilovarheure dans la forme du « kvarh ».

On a proposé d'adopter le terme *hormanance* pour désigner la puissance réactive, terme dérivé d'un mot grec signifiant excitation ; mais cette proposition n'a pas été adoptée et a été provisoirement ajournée pour examen ultérieur. L'accord s'est fait néanmoins sur l'adoption provisoire du terme « puissance réactive ». Ainsi, le diagramme de la puissance en courant alternatif, représenté par un triangle rectangle, aurait la puissance active comme base, la puissance réactive comme hauteur et la puissance apparente pour hypoténuse

VIII. **Définition du facteur de puissance dans un réseau à courant alternatif sinusoïdal.** — En conformité avec une proposition du Comité roumain, il a été décidé de définir le facteur de puissance d'un réseau à courant alternatif sinusoïdal en régime permanent par la valeur numérique de l'expression

$$\frac{P}{\sqrt{P^2 + P_r^2}},$$

cette valeur étant exprimée en fraction décimale ou en pourcentage ; dans cette expression P représente la puissance active totale du réseau en watts et P_r est la puissance totale réactive du système en vars.

IX. **Définition du facteur de puissance dans un circuit à courant alternatif monophasé non sinusoïdal.** — Dans le cas d'un circuit à courant monophasé non sinusoïdal, l'accord a été réalisé pour définir provisoirement le facteur de puissance par la valeur numérique de l'expression $\frac{P}{VI}$, dans laquelle P est la puissance active en watts et VI, la puissance apparente exprimée sous forme du produit des volts V par les ampères I.

Certains autres sujets en rapport avec les composantes de la puissance réactive dans un système à courant alternatif non sinusoïdal furent retenus en vue de leur discussion ultérieure par le sous-comité, et également certaines ambiguïtés dans l'usage des unités existantes électriques et magnétiques.

On a exprimé l'espoir que l'apparence d'une adoption précipitée et irréfléchie des nouvelles unités dans la littérature électrotechnique pourra être dissipée grâce aux travaux du Sous-Comité des Grandeurs et Unités

électriques et magnétiques auquel les comités nationaux peuvent avantageusement s'adresser pour toute question pouvant être prise en considération au point de vue international.

Les résolutions du Sous-Comité des Grandeurs et Unités électrique et magnétiques ont été révisées et adoptées à l'unanimité par le Comité d'Etudes de la Nomenclature et ensuite rapportées à la réunion plénière de la Commission électrotechnique internationale, qui se tint à Oslo le 9 juillet 1930. Ces résolutions ont été adoptées à l'unanimité lors de cette réunion.

A.-E. KENNELLY,
Président du Sous-Comité international
des Grandeurs et Unités électriques
et magnétiques.

Traduit de l'anglais par
L. VELLARD.

Observations de M. E. Brylinski sur les décisions de la Commission électrotechnique internationale concernant les unités magnétiques

Dans cette note l'auteur expose d'abord quelques considérations d'un caractère principalement historique montrant que les décisions prises par la Commission électrotechnique internationale n'ont fait que mettre au point les résolutions adoptées par le Congrès international d'Electricité tenu à Paris en août 1900. En terminant, il établit que les réserves faites par M. Kennelly au sujet de l'emploi du préfixe « pra » dans les noms des unités magnétiques du système pratique ne sont pas fondées, car les dénominations « pragilbert », « praoersted », « pragauss », « pramaxwell » ne peuvent donner lieu à aucune ambiguïté.

I. Je désire tout d'abord remercier M. Kennelly de son exposé des travaux fort importants, accouchement de trente ans d'efforts, que vient de mener à bonne fin la Commission électrotechnique internationale, exposé qui arrive à son heure et mérite d'être largement diffusé.

Je suis, bien entendu, d'accord avec M. Kennelly sur cet exposé, mais j'ai quelques observations à présenter sur les réserves qu'il formule à propos de l'emploi éventuel du *pragauss*, du *praoersted* et du *pragilbert*. Je désire également compléter cet exposé par un rappel de quelques considérations de caractère principalement historique.

II. Le but fondamental de la Commission électrotechnique internationale a été, en effet, une mise au point des résolutions régulièrement adoptées par le Congrès international de Paris (1900) qui a assumé la responsabilité de décider qu'il y avait lieu de donner des noms aux unités magnétiques C. G. S. de champ (1) et de flux d'induction, et non à celles correspondant au système d'unités électriques pour la pratique, et de donner à ces unités C. G. S. des noms de savants. Ce Congrès, régulièrement constitué, avait d'ailleurs tous pouvoirs pour prendre ces décisions, de sorte que la Commission électrotechnique internationale ne saurait être blâmée de les avoir appliquées.

Il ne semble pas, du reste, que ces décisions soient aussi répréhensibles qu'on l'entend dire parfois. Mais pour s'en rendre compte, il faut remonter plus haut dans le temps.

(1) Je reviendrai plus loin sur la question de l'unité de champ magnétique.

III. Les fondateurs du système C. G. S., qui date de 1873 et dont dérivent les systèmes d'unités électriques et magnétiques, avaient sans doute pensé établir un système englobant toute la physique ; c'était l'époque, en effet, où l'on admettait universellement, — j'ai moi-même partagé cette illusion pendant la plus grande partie de ma vie, — que tous les phénomènes de la physique se ramèneraient en dernière analyse à la mécanique. Pour éviter tout désordre, ils s'étaient donné une règle, d'après laquelle toute nouvelle unité C. G. S. dotée d'un nom aurait un nom dérivant du grec (dyne, erg). C'était une règle d'ordre, à laquelle il serait excessif d'attacher un caractère absolu, car on a gardé pour deux des unités fondamentales sur trois les noms de *centimètre*, bien que *centi* soit latin et non grec, et de *seconde*, qui ne dérive pas davantage du grec.

Depuis lors, en a cherché vainement à expliquer les phénomènes électromagnétiques par la seule mécanique et on a dû admettre la conception de l'électron, ce qui revient à employer pour les phénomènes électromagnétiques une quatrième grandeur fondamentale à côté de celles de la mécanique. Mais, quelles que soient cette grandeur et son unité, tout système comprenant cette unité nouvelle en sus du centimètre, du gramme et de la seconde sera incontestablement un système C. G. S.

IV. On avait d'ailleurs adopté une solution de caractère intermédiaire : afin de ramener les grandeurs électriques et magnétiques à celles de la mécanique, on a admis l'hypothèse arbitraire que le *pouvoir inducteur spécifique* (système électrostatique) ou la *perméabilité*

magnétique (système électromagnétique) était un pur nombre, de valeur égale à 1 dans le vide. J'ai signalé, il y a longtemps déjà, que cette hypothèse alternative était inutile et qu'il était préférable de définir ces deux systèmes par la condition qu'on prend pour unité de pouvoir inducteur spécifique ou de perméabilité magnétique celui ou celle du vide, ce qui laisse complètement intacts les systèmes d'unités existants. Cette manière de procéder est, au fond, celle qu'ont réellement employée les fondateurs du système métrique pour définir l'unité de *masse*, car la définition de l'unité de masse comme étant la masse d'un volume unité d'eau à 4°C revient, en réalité, à définir l'unité de *densité* comme étant la densité de l'eau à 4°C. On évite ainsi toute hypothèse arbitraire, en faisant simplement disparaître la possibilité d'écrire les équations de dimensions des grandeurs électriques et magnétiques en fonction de L, M, T seuls, ce qu'il n'y a pas lieu de regretter, car les équations de dimensions ainsi obtenues sont non seulement probablement inexactes (certainement inexactes dans l'un des deux systèmes), mais d'un emploi très incommode en raison des exposants fractionnaires de la plupart d'entre elles.

V. En 1881, le développement que prenait l'industrie électrique naissante rendit indispensable l'établissement d'un système d'unités électriques ; c'est alors que, après avoir admis que ces unités devaient être définies dans un système électromagnétique et constaté que les unités électromagnétiques C. G. S. étaient pour la plupart d'un emploi fort incommode, on fut amené à construire un système d'unités électriques pour la pratique ou, par abréviation, le système pratique d'unités électriques, dans lequel l'unité de longueur est le quadrant terrestre. Il était évidemment inutile de donner des noms, fussent-ils dérivés du grec, à des unités électromagnétiques C. G. S. qu'on avait dû renoncer à employer, mais il serait excessif de généraliser cette règle de commodité, qui s'appliquait aux seules unités électriques, en voulant l'appliquer sans exception à toutes les nouvelles unités dont l'emploi pourrait devenir nécessaire.

VI. Les fondateurs du système électrique pratique n'ont pas réglé la question des unités magnétiques ; il est aisé de se rendre compte pour quels motifs. Il sautait, en effet, aux yeux, que les unités de champ et d'induction magnétiques du système pratique étaient d'un usage excessivement incommode, alors que les unités C. G. S. convenaient parfaitement puisque (j'emploie par anticipation pour ces unités, afin de simplifier l'écriture, les noms qui viennent d'être adoptés par la Commission électroteehnique internationale) :

les champs usuels étaient d'un ordre allant de l'oersted à quelques kilooersteds ;

les inductions usuelles de l'ordre de quelques kilogauss ;

et les flux d'induction de l'ordre de quelques mégamaxwells.

D'autre part, l'état de l'industrie électrique ne nécessitait pas encore l'attribution de noms spéciaux aux unités magnétiques.

VII. Il y a lieu de remarquer, comme je l'ai signalé depuis longtemps, que la difficulté devant laquelle ont reculé les fondateurs du système pratique provient essentiellement de l'erreur qu'ils ont commise en adoptant pour l'*ampère* une valeur égale au dixième de l'unité C. G. S., erreur d'autant plus incompréhensible que le déplacement de la virgule d'un seul rang ne saurait rendre commode l'emploi de nombres qui ne le sont pas et que, d'autre part, on se servait déjà de courants électriques dont la valeur dépassait celle de l'unité C. G. S. Si cette erreur n'avait pas été commise. on n'aurait eu affaire qu'à des puissances ± 9 de 10, de sorte que l'adoption de deux préfixes représentant 10^9 et 10^{-9} aurait suffi à régler toutes les questions qui se posaient, au lieu que l'intervention des facteurs 10^9, 10^8 et 10^7 aurait amené à un nombre excessif de préfixes.

VIII. Si le Congrès de Paris (1900) a dû se placer en face de la difficulté qui avait fait hésiter les fondateurs du système électrique pratique, c'est que le prodigieux développement de l'industrie électrique avait fait ressortir la nécessité de donner des noms à certaines unités magnétiques, et des noms simples et courts.

La solution consistant à donner des noms au flux d'induction et à la force magnétomotrice (supposons, par exemple, pramaxwell et pragilbert) et à définir les unités d'induction et de champ comme étant respectivement le *pramaxwell par centimètre carré* et le *pragilbert par centimètre* n'aurait soulevé aucune objection au point de vue des principes ; elle a été proposée à diverses reprises et depuis longtemps, mais elle a toujours été écartée pour des raisons purement pratiques. Une unité de dénomination trop longue ne peut répondre au but recherché, parce que l'incommodité de son emploi amène, lorsqu'il faut en user très fréquemment, une gêne qui devient à la longue intolérable. Me sera-t-il permis de rappeler à ce sujet un souvenir particulièrement significatif? La question de l'induction et du champ magnétiques et de leurs unités, qui est celle que j'examine en ce moment, a fait, il y a quelques années, à la Société, française de Physique, l'objet de discussions prolongées. Lors de la dernière réunion du Conseil de cette société, qui s'est occupé de la question, un savant éminent, qui par la nature de ses fonctions s'intéressait au champ magnétique terrestre, conclut en déclarant qu'il était disposé à accepter de réserver le nom de *gauss* à l'unité d'induction à la condition expresse qu'on donnât à l'unité de champ un nom court et commode et qu'on n'employât pas une expression telle que *gilbert par cèntimètre*, qu'il trouvait par trop incommode.

Cette incommodité des dénominations complexes entraîne dans la pratique des conséquences graves, parce que les auteurs, se laissant entraîner à suivre le langage d'atelier, les abrègent trop souvent. C'est ainsi

qu'on voit couramment exprimer les fréquences en périodes (au lieu de périodes par seconde), les pressions en kilogrammes (au lieu de kilogrammes par centimètre carré) les vitesses en kilomètres (au lieu de kilomètres par heure, minute ou seconde), les quantités d'énergie en kilowatts (au lieu de kilowattheures), etc. Il en résulte des confusions parfois fort graves, qu'il est désirable d'éviter dans la mesure du possible et qu'on ne peut éviter qu'en donnant aux unités des noms courts et commodes.

IX. On aurait pu songer aussi à enlever au système pratique son caractère de système électromagnétique, et convenir, par exemple, que dans ce système, l'unité de perméabilité magnétique serait égale à 10^9 fois la perméabilité du vide. L'unité de longueur serait alors restée le *centimètre* et l'unité de champ magnétique eût été commode. Mais l'unité d'induction aurait été aussi incommode que dans le système électromagnétique pratique et d'autres répercussions désagréables se seraient sans doute révélées, de sorte que cette manière d'opérer ne paraît pas désirable.

X. L'application, par le Congrès de 1900, d'un nom court tel que celui de *gauss* à l'unité de champ répondait donc à un besoin qui s'est impérieusement affirmé depuis lors pour l'unité d'induction; mais il s'est produit en 1900 un regrettable malentendu à ce sujet. La délégation américaine entendait que le nom de *gauss* fût attribué à l'unité d'*induction magnétique*, mais l'expression « magnetic field density » qu'elle a employée est tellement imprécise que son intention n'a pas été exactement saisie; il semble, d'autre part, qu'on n'ait pas attaché une très grande importance à distinguer entre le *champ* (qui correspondait au mot « field ») et l'*induction* (qui résultait du mot « density ») parce qu'on admettait assez généralement à l'époque qu'en raison du caractère électromagnétique du système, le même nom pouvait (d'aucuns disaient : devait) servir à désigner les unités de champ et d'induction magnétiques.

Ce malentendu s'est révélé peu à peu et le besoin de le redresser s'est progressivement affirmé avec force, ce qui a amené l'adoption des noms de *gauss* pour l'unité d'induction et d'*oersted* pour l'unité de champ, les membres du Sous-Comité de la Commission électrotechnique internationale ayant été d'ailleurs unanimes à estimer qu'il était inutile de donner un nom spécial à l'unité de réluctance.

XI. La question des unités magnétiques C. G. S. ayant été ainsi réglée, il a fallu prendre une décision au sujet de la proposition, maintenue par le Comité italien, de donner un nom spécial à l'unité de flux d'induction dans le système pratique. Le Sous-Comité se montrait nettement opposé à cette proposition lorsque le délégué russe lui suggéra de désigner les unités magnétiques du système pratique par leur nom du système C. G. S. précédé du préfixe « pra », première syllabe du mot « pratique ». Cette proposition séduisit le Sous-Comité parce qu'elle ne créait aucun nom nouveau et n'exigeait aucun effort de mémoire.

XII. J'en arrive ainsi aux réserves formulées par M. Kennelly sur l'emploi du *pragilbert*, du *pragauss* et du *praoersted*.

La force magnétomotrice d'un courant fermé est proportionnelle à ce courant, le coefficient de proportionnalité étant universellement admis comme purement numérique. Il en résulte que le rapport des unités de force magnétomotrice dans deux systèmes d'unités est nécessairement égal au rapport des unités de courant dans ces deux systèmes et qu'on a toujours, par conséquent, dans le système pratique (car nous ne saurions envisager un système d'unités dans lequel l'unité de courant ne serait pas l'ampère)

$$1 \text{ pragilbert} = 10^{-1} \text{ gilbert}.$$

La valeur du *gilbert* dépendra d'ailleurs de la valeur adoptée pour le coefficient numérique (4π ou autre); mais il ne faut pas perdre de vue que, si divers systèmes ont été proposés en vue de faire disparaître le coefficient 4π, aucun de ces systèmes n'a réussi à prédominer et que l'équation de définition employée dans le système électromagnétique C. G. S. reste

$$\int \mathcal{H} \, dl = 4\pi i.$$

Il n'y a donc aucune ambiguïté possible en ce qui qui concerne le *pragilbert*.

Le *praoersted* dérive du *pragilbert*, comme l'*oersted* du *gilbert* par la formule de définition

$$\mathcal{F} = \mathcal{H} l$$

qui fait intervenir l'unité de longueur. Il en résulte que le *pragilbert* aurait des valeurs différentes de celle du système pratique dans le système de Giorgi, ou dans d'autres, en différant par la valeur de leur unité de longueur. Mais ces divers systèmes, pour intéressants qu'ils puissent être, ne se sont pas généralisés; même s'ils s'étaient généralisés, il n'y aurait aucunement lieu d'en tenir compte, car comme l'a si justement signalé M. Paul Janet, ce seraient des systèmes *usuels* et non *le système pratique*. Le seul système auquel puisse s'appliquer le nom de *pragilbert* est le système cohérent des unités électriques pour la pratique, dans lequel l'unité de longueur est le *quadrant*, de telle sorte que l'on aura nécessairement

$$1 \text{ gilbert} = 1 \text{ oersted} \times 1 \text{ cm},$$

$$1 \text{ pragilbert} = 1 \text{ praoersted} \times 10^9 \text{ cm},$$

et, par conséquent,

$$\frac{1 \text{ praoersted}}{1 \text{ oersted}} = \frac{10^{-9} \text{ pragilberts}}{1 \text{ gilbert}} = 10^{-10}.$$

Tout ce que je viens de dire s'applique mot pour mot au *pragauss*, défini par la formule

$$\Phi = \mathcal{B}S,$$

de sorte que l'on aura nécessairement

$$1 \text{ maxwell} = 1 \text{ gauss} \times 1 \text{ cm}^2,$$

$$1 \text{ pramaxwell} = 1 \text{ pragauss} \times 10^{18} \text{ cm}^2,$$

et, par conséquent,

$$\frac{1 \text{ pragauss}}{1 \text{ gauss}} = \frac{10^{-18} \text{ pramaxwells}}{1 \text{ maxwell}} = 10^{-10},$$

ainsi que cela devait être dans un système électromagnétique en vertu de la relation

$$\mathcal{B} = \mu \mathcal{H}.$$

On voit donc qu'il n'y a aucune ambiguïté à craindre dans l'application des décisions de la Commission électrotechnique internationale et que le seul tableau de correspondance entre les valeurs des unités magnétiques dans le système pratique et dans le système C. G. S. est le suivant :

$$1 \text{ pramaxwell} = 10^8 \text{ maxwells},$$
$$1 \text{ pragauss} = 10^{-10} \text{ gauss},$$
$$1 \text{ praoersted} = 10^{-10} \text{ oersted},$$
$$1 \text{ pragilbert} = 10^{-1} \text{ gilbert}.$$

XIII. En résumé, la Commission électrotechnique internationale a accompli une œuvre d'importance pratique considérable, sans toucher en rien aux principes établis par le Congrès international d'Electricité de Paris (1900), ni aux principes des Congrès antérieurs en tant qu'ils n'avaient pas été modifiés par celui de 1900.

J'ajouterai qu'il résulte des débats que ces décisions ne rentrent pas dans celles qui sont du domaine du Bureau international des Poids et Mesures et enfin que la Commission électrotechnique internationale estime inutile de soumettre ces décisions à l'approbation d'un nouveau Congrès international des Electriciens parce qu'elle les considère comme rentrant dans le domaine du mandat très large qui lui a été conféré par le Congrès international des Electriciens de Saint-Louis (1904).

E. Brylinski,
Vice-président de la Commisssion électrotechnique internationale.
Président du Comité électrotechnique français.

Revues, analyses et informations

Recherches sur les figures de de Heen et l'effluve électrique (1).

1. Expériences de de Heen. — P. de Heen (2) a décrit jadis la curieuse expérience suivante. Une couche de résine d'épaisseur bien uniforme ayant été coulée sur une plaque de verre ou de carton, on électrise la lame isolante ainsi obtenue en la balayant sur toute sa surface avec les effluves émis par les pointes d'un peigne métallique à manche isolant relié à l'un des pôles d'une machine électrostatiqne. Si on dispose ensuite la lame horizontalement entre trois bougies dont les flammes soient au milieu de trois côtés de la lame et que, quelques instants après, on projette sur la surface de la lame une poudre fine (lycopode, sciure, soufre pulvérisé, etc), on voit la poudre dessiner une sorte d'Y dont les branches très fines servent de frontière aux domaines d'action des trois flammes. Le même résultat peut être obtenu en substituant aux flammes des pointes métalliques aiguës ou tout autre organe susceptible de déterminer une ionisation de l'air à l'endroit où il se trouve placé. Ces effets s'expliquent par une désélectrisation de la plaque sous l'influence des ions émis par la flamme ou la pointe et il est indifférent que l'électrisation primitive en soit positive ou négative.

Les ions émis par les diverses flammes se repoussent mutuellement, d'où l'existence sur la plaque de régions où subsiste l'électrisation, du fait qu'elles n'ont pas été atteintes par les ions ; ces régions deviennent de moins en moins étendues à mesure que l'on prolonge l'action des sources ionisantes et, pour une durée parfaitement réglée de l'expérience, elles se réduisent à de véritables lignes très fines.

2. Figures complémentaires des figures de de Heen. — Le procédé d'électrisation des plaques par balayage ne permettant pas d'obtenir, dans diverses expériences, la même électrisation des plaques, Lafay, au lieu d'obtenir les figures par neutralisation d'une plaque préalablement électrisée, les a réalisées en déposant des charges électriques sur une lame de résine qui est, au début, à l'état neutre.

On dispose la lame sur un plateau métallique horizontal, convenablement isolé et relié à l'un des pôles d'une machine électrostatique ; on en approche alors des pointes qui sont mises en communication avec le sol. Ces pointes s'électrisent par influence et émettent des particules électrisées. Celles-ci viennent se fixer sur la résine, où elles dessinent des images latentes que l'on révèle ensuite à loisir, après avoir éloigné les pointes et relié le plateau à la terre. On peut employer à cet effet des mélanges de soufre et de minium finement pulvérisés ; une telle poudre, projetée sur la plaque, fait apparaître des dessins qui, pour une disposition donnée des pointes, ont une forme indépendante du signe de l'électrisation et se peignent en jaune ou en rouge suivant que les couches électriques qui les constituent sont positives ou négatives.

Pour réaliser l'expérience, il est avantageux de fixer en regard du plateau qui porte la lame de résine une plaque métallique percée de quelques petits trous, par lesquels on

(1) A. Lafay. *Annales de Physique*, avril 1930, t. XIII (10e série), p. 349-394, 18000 mots, 22 figures.

(2) P. de Heen. *Bulletin de l'Académie de Bruxelles*, 1899, t. XXXVII (3e série), p. 589.

introduit les pointes dans le champ du condensateur plan ainsi constitué.

En retirant ces pointes à des intervalles de temps très courts et progressivement croissants à partir de l'instant où le champ se trouve établi, on peut suivre l'évolution du phénomène et constater qu'il se forme, à l'aplomb de chaque pointe, une tache électrisée qui, d'abord très petite et sensiblement circulaire, augmente en même temps qu'elle se déforme sous l'influence apparente des taches voisines. Ces déformations sont dues aux répulsions mutuelles des effluves en forme de nappes coniques qui, émis par chaque pointe, viennent garnir de particules électrisées le pourtour grandissant de la tache correspondante. Au bout d'un temps suffisant, il arrive que, sous l'effet antagoniste des charges déposées sur la résine, l'intensité du champ atteint la limite pour laquelle l'émission des pointes cesse d'avoir lieu et les dessins obtenus deviennent alors indépendants de la durée de la pose.

Suivant l'intensité du champ et la position des pointes entre les armaturee, on obtient des plages électrisées séparées par des cloisons plus ou moins étroites.

On obtient des résultats encore plus nets en disposant les pointes au-dessus des trous, de manière que ceux-ci servent de limite aux effluves projetés par la pointe. A cet effet, on réunit la plaque portant la résine au pôle négatif d'une machine de Wimshurst dont le pôle positif communique avec la ou les pointes destinées à produire les effluves. La plaque percée de trous, disposée en face des pointes de manière à limiter les effluves, est mise en communication avec le sol. Dans ces conditions, chaque trou devient une source très petite, presque ponctuelle, qui est, comme une flamme, susceptible de produire des particules électrisées sous l'action des champs les plus faibles. On peut donner aux trous des formes quelconques et même les remplacer par des fentes qui émettent des effluves lamellaires. Quand une image est en voie de formation depuis un certain temps, il suffit de permuter les connexions avec la machine électrostatique pour désélectriser, puis électriser en sens inverse les régions centrales des plages déjà impressionnées ; en répétant de telles inversions un certain nombre de fois à des intervalles de temps de plus en plus rapprochés, on obtient des dessins du plus curieux effet constitués par des zones successives alternativement jaunes (positives) ou rouges (négatives).

3. Déviation des effluves par le vent. — Toute particule électrisée, en mouvement dans un gaz dont la raréfaction n'est pas poussée à l'extrême, est, en chaque point de sa trajectoire, animée d'une vitesse v proportionnelle au champ électrique h qui agit sur elle

$$v = kh,$$

k désignant ce qu'on appelle la mobilité de la particule. L'auteur montre que cette mobilité peut être déterminée en mesurant la déviation qu'éprouve un effluve élémentaire soumis aux actions simultanées d'un champ uniforme connu et d'un vent bien régulier dirigé perpendiculairement à ce champ.

La plaque portant la résine était mise en communication avec un électromètre de Kelvin et avec une machine de Wimshurst dont on réglait le débit de manière à maintenir le potentiel à la valeur désirée. On activait alors les trous de la plaque pendant quelques secondes afin d'imprimer sur la résine trois petites taches initiales correspondant à des effluves filiformes, non déviés, produits en air calme. Après cette opération, la mise en marche d'un ventilateur permettait de produire un vent dont la vitesse prenait une série de valeurs croissantes que l'on maintenait constantes pendant les quelques secondes nécessaires pour émettre les trois petits effluves et inscrire leurs points d'impact sur la résine. L'auteur a utilisé des champs h échelonnés entre 1000 et 6000 v : cm et des vents dont la vitesse V a varié de 5 à 40 m : s. Il a constaté que les déplacements Δ des taches sont proportionnels à V et inversement proportionnels à h. En désignant alors par l la distance des plateaux du condensateur et par k une constante, on a

$$\frac{V}{h} = k\frac{\Delta}{l}. \qquad (1)$$

Comme l'on a en désignant par v la vitesse que prendrait la particule si le champ existait seul

$$\frac{V}{v} = \frac{\Delta}{l}, \qquad (2)$$

il en résulte, en comparant les équations (1) et (2) que le coefficient k qui intervient dans la formule (1) n'est autre que la mobilité de l'ion.

L'ensemble des essais effectués par l'auteur lui a montré que la mobilité des particules négatives est supérieure à celle des particules positives; il a trouvé comme valeur moyenne en centimètre par seconde pour un champ de 1 volt par centimètre

$$k_- = 1{,}75,\ k_+ = 1{,}60.$$

Ces nombres sont voisins de ceux que divers expérimentateurs ont obtenus par des procédés indirects.

4. Remarques sur l'emploi du tube Pitot dans les expériences précitées. — Dans les expériences précédentes, la vitesse du vent était déterminée au moyen d'un tube Pitot. Or, la graduation d'un tel tube présente des difficultés, qui jusqu'ici, n'ont pas été complètement résolues.

Parmi les procédés utilisés pour tarer les tubes, l'un des plus directs consiste à comparer les indications de ce dispositif, placé dans une soufflerie, à la vitesse de petits corps très légers mis en suspension dans le vent et dont on enregistre le mouvement par voie photographique. Comme aucun corps ne peut être plus léger ni susceptible de suivre avec plus de docilité le mouvement des gaz que les particules électrisées qui constituent l'effluve, l'auteur pense que si les mobilités étaient connues, il serait possible d'utiliser le dispositif expérimental décrit plus haut pour tarer les tubes Pitot et, de plus, qu'en raison de la rapidité avec laquelle se meuvent ces particules, dès que la différence de potentiel atteint quelques milliers de volts, elles permettraient d'obtenir des indications anémométriques pratiquement instantanées, susceptibles de rendre des services en aérodynamique.

5. Méthode directe pour la détermination des mobilités. — L'auteur a mis au point un dispositif permettant de mesurer directement les mobilités. Il a ainsi obtenu les mobilités dans l'air et dans quelques gaz. Pour l'air à la température de 15°C et sous la pression correspondant à la hauteur d'une colonne de mercure de 760 mm, il a trouvé pour un champ de 1 v : cm

$$k_- = 1{,}70 \text{ et } k_+ = 1{,}57 \text{ cm : s.}$$

Dans toutes ces expériences l'auteur n'a jamais constaté des effets permettant de conclure à l'existence de deux ou de plusieurs espèces de particules présentant des différences suffisantes pour donner des taches inégalement déviées.

Même en faisant varier systématiquement les proportions d'hydrogène et d'anhydride carbonique, il n'a obtenu aucun dédoublement des points d'impact. « On explique généralement, dit-il, la lenteur relative des particules à travers les gaz en admettant qu'elles sont constituées par des molécules ionisées qui se sont alourdies en fixant autour d'elles une grappe d'autres molécules. D'après les résultats précédents, il faut alors admettre que les collisions intermoléculaires modifient très fréquemment la constitution de cette grappe et la font osciller autour d'un certain état moyen complètement déterminé par la nature, la pressionet la température du gaz que l'effluve traverse. »

6. Les agrégats positifs. — Lorsqu'on reçoit, sur une lame isolante, un effluve positif brusquement émis par une pointe dans un champ intense, on voit apparaître, au développement, des arborescences dessinées par un dépôt de soufre beaucoup plus dense que celui dont est formé le fond jaune continu sur lequel elles se détachent. Ces ramifications caractéristiques, qui se manifestent avec une grande intensité dans l'expérience classique des figures de Lichtenberg, sont produites par des charges dont le mode de transport diffère de celui des particules positives précédemment étudiées.

On peut simplifier l'étude des arborescences en ne laissant entrer dans le champ uniforme d'un condensateur que les effluves passant à travers un orifice de petites dimensions pratiqué dans l'une de ses armatures. Dans ce cas, quelle que soit l'intensité de l'électrisation de la pointe produisant les effluves traversant l'orifice, tant que le champ n'atteint pas une valeur voisine de 4 600 v : cm, on ne voit pas apparaître de phénomène nouveau et sur la plaque de résine frappée par l'effluve l'action d'un soufflet à fleur de soufre ne donne qu'une tache jaune plus ou moins étendue. Ce n'est qu'à partir du moment où la limite précédente est dépassée qu'il est possible, en électrisant brusquement la pointe, d'obtenir de petits agrégats en forme d'étoile ou de bâtonnet, irrégulièrement distribués dans la région qui fait face à l'orifice.

Indépendamment de toute considération relative au processus de ce transport de charges, il résulte de la forme plus ou moins étoilée des agrégats que le phénomène qui leur donne naissance est localisé sur la surface de la résine et dépend de la nature du gaz en contact avec elle. La charge qui se trouve brusquement apportée au point d'arrivée du jet se disperse en traçant sur la lame isolante des branches rayonnantes plus ou moins nombreuses. On obtient, en effet, exactement les mêmes images en conduisant de petites charges positives jusqu'à la plaque, à l'aide d'un fil métallique très fin qui les y dépose en des points bien déterminés.

Le fait que la forme étoilée des agrégats résulte d'un glissement superficiel de l'électricité contre l'isolant où ils se dessinent est également démontré par leur action photographique. En substituant une plaque de gélatino-bromure d'argent à la lame de résine, on obtient encore de petites étoiles dont les branches, au lieu d'avoir à peu près la même largeur sur presque toute leur étendue, ont la forme d'une virgule et s'effilent à mesure que l'on s'éloigne du point d'impact. Cette différence d'aspect est due à ce que la préparation qui recouvre la plaque photographique est beaucoup moins isolante que la résine et permet à l'électricité de se dissiper plus facilement.

Quand on expose une plaque photographique à l'action des effluves ordinaires étudiés dans les paragraphes précédents, on n'obtient aucune impression si ce n'est celle, de nature toute différente, produite par les pinceaux lumineux que l'extrémité de la pointe émet à travers les orifices qu'elle alimente en particules électrisées.

Des phénomènes de phosphorescence peuvent également servir à révéler les points d'impact des agrégats. Pour les observer, l'auteur emploie comme plaque réceptrice une glace demi-platinée dont la face métallisée prend appui sur les bords d'une fenêtre circulaire percée dans le second plateau du condensateur et sert de support, dans sa partie centrale, à une mince couche de celluloïd contenant du sulfure de zinc en suspension. En se plaçant derrière cette glace, on voit apparaître aux points d'arrivée des agrégats, des bâtonnets, généralement assez larges et peu longs, tandis qu'en recevant sur de la résine les décharges qui donnent lieu à ces phénomènes lumineux, on obtient des étoiles dont les branches sont longues et bien fournies. Comme dans le cas de la plaque photographique, les propriétés médiocrement isolantes de la pellicule phosphorescente empêchent l'étalement des charges électriques.

Le fait que le mode de transport de l'électricité donnant naissance aux agrégats diffère de celui qui constitue les effluves ordinaires est confirmé par l'action du vent : l'action d'un vent même très violent ne parvient pas à les dévier.

L'auteur a fait traverser par un jet d'agrégats une veine d'air de 3 cm de diamètre, provenant d'un réservoir où la pression de ce fluide était de 3 kg : cm^2. Dans ces conditions, la vitesse du gaz dans la région contractée de la veine était voisine de la vitesse du son, et cependant les agrégats n'ont pas éprouvé de déviation appréciable en la franchissant. Dans le champ utilisé qui était d'environ 5 000 v : cm, on en déduit que la vitesse de projection des agrégats dépassait 9 000 m : s, d'où une mobilité pour un champ de 1 v : cm

$$k = \frac{900\ 000}{5\ 000} = 180 \text{ cm} : \text{s},$$

au moins 100 fois plus grande que celle des particules constitutives des effluves ordinaires.

En diminuant la charge émise par la pointe et la valeur du champ qui la transporte, l'auteur a pu parfois observer la transformation des jets d'agrégats en effluve ordinaire.

De l'ensemble des observations faites par l'auteur, il paraît résulter que, dans un jet d'agrégats, l'électricité est transportée par des noyaux constitués par un atome ou une molécule du gaz dans lequel ils ont pris naissance et par une charge égale à celle d'un très petit nombre de charges élémentaires.

La masse de ces noyaux doit jouer un rôle essentiel au moment où ils entrent en collision avec les molécules des gaz qu'ils traversent, car c'est vraisemblablement à leur inertie qu'ils doivent de pouvoir conserver leur indépendance et leur grande mobilité pour des valeurs relativement faibles du champ qui les entraîne. Les électrons, dont la masse est beaucoup plus faible, placés dans les mêmes conditions, s'alourdissent immédiatement en fixant autour d'eux un cortège de molécules et en produisant les particules à faible mobilité qui constituent l'effluve négatif. — A. B.

Les énergies des électrons dans les gaz (1).

L'auteur expose dans ce mémoire les résultats qu'il a obtenus au cours de recherches effectuées sur les propriétés électriques des gaz.

(1) J.-S. Townsend. *The philosophical Magazine*, juin 1930, t. IX (7e série), p. 1 145-1 173, 10 000 mots, 6 figures.

1. Expériences sur le mouvement des électrons dans les gaz. — Les expériences sur le mouvement des électrons dans les gaz, dans le cas de courants photoélectriques, ont montré qu'après un certain parcours des électrons sous l'action de la force électrique, il s'établit un état stationnaire du mouvement, dans lequel l'énergie moyenne d'agitation E_1 des électrons, et leur vitesse moyenne v_1 suivant le vecteur électrique sont fonction du rapport entre le vecteur électrique h et la pression du gaz p. On a pu ainsi obtenir expérimentalement l'énergie E_1 et la vitesse v_1 en fonction du rapport de h à p. D'autre part, on peut trouver théoriquement les valeurs du libre parcours moyen l et de la perte moyenne d'énergie λE_1 des électrons par chocs avec les molécules du gaz en fonction de v_1 et de E_1.

Il existe dans chaque gaz un domaine d'intensités de champ et de pressions où le coefficient λ et le produit lp sont à peu près constants. Pour l'hélium et le néon, l'énergie moyenne d'agitation E_1 est à peu près proportionnelle à $\frac{h}{p}$ dans ce domaine. Pour le néon, $\lambda = 7 \times 10^{-3}$ et E_1 est égal à 4 fois le produit d'un volt par la charge d'un électron; pour l'hélium, $\lambda = 2{,}5 \times 10^{-4}$ et E_1 est égal à la valeur précitée, à la limite supérieure de ce domaine. Avec de plus grandes valeurs de E_1, λ croît considérablement, par suite de la perte de l'énergie électronique par chocs avec les molécules du gaz.

Ces résultats s'expliquent par la théorie que l'auteur a donnée de l'ionisation par chocs, d'après laquelle une petite proportion des électrons à grande énergie d'agitation peuvent céder leur énergie aux atomes du gaz pour les faire rayonner de la lumière, ou pour les ioniser.

L'auteur montre qu'au contraire, les lois des impacts électroniques sur les atomes des gaz monoatomiques, données par Franck et Hertz, ne sont pas en accord avec les données expérimentales relatives aux courants qui traversent des tubes à vide de grandes dimensions. De même, les théories modernes des potentiels critiques ne sont pas basées sur des preuves expérimentales dignes de confiance, car, en raison de l'existence des charges spatiales dans un gaz traversé par un flux d'électrons, les potentiels des électrons qui entrent dans le gaz ne sauraient représenter les énergies qui correspondent aux propriétés critiques des molécules. L'auteur cite à l'appui de cette manière de voir diverses observations qui sont en accord avec une théorie du rayonnement de la lumière par la décharge électrique, bien connue depuis de nombreuses années.

2. Détermination de la vitesse correspondant a l'énergie moyenne d'agitation des électrons. — Il est dès lors intéressant de déterminer avec quelle vitesse les électrons tendent à acquérir leur énergie moyenne d'agitation, et les effets perturbateurs qui font que quelques électrons possèdent des énergies dépassant la valeur moyenne de quantités déterminées.

L'énergie cinétique d'un électron dans un gaz dépend de la grandeur de transfert d'énergie au cours des chocs, et du nombre de chocs que l'électron subit lorsqu'il franchit une distance donnée suivant la direction du vecteur électrique. En principe, les électrons peuvent gagner ou perdre de l'énergie par chocs avec les molécules, mais l'énergie perdue excède en général l'énergie gagnée, de sorte que l'effet moyen d'un grand nombre de chocs peut être représenté par une perte d'énergie proportionnelle à l'énergie cinétique E de l'électron. Si λE est la perte moyenne d'énergie au cours d'un choc, le coefficient λ est une petite fraction, et l'énergie qui peut être perdue ou gagnée au cours d'un choc est beaucoup plus grande que λE. Ainsi, différents groupes d'électrons peuvent perdre des quantités d'énergie largement différentes de la perte moyenne, en franchissant une distance donnée dans la direction du vecteur électrique, même si tous les électrons rencontrent le même nombre de molécules.

Dans certaines conditions, d'ailleurs, il existe des différences considérables dans les nombres de chocs des électrons avec des molécules du gaz, puisque des électrons peuvent effectuer plusieurs libres parcours consécutifs en moyenne plus longs ou plus courts que le libre parcours moyen l. Quand le nombre total de chocs avec des molécules n'est pas très grand, il y a pour ces raisons de grandes inégalités dans la grandeur de l'énergie perdue par les électrons.

En général, quand des électrons se meuvent dans un champ électrique, le mouvement se règle automatiquement de telle sorte que dans le parcours d'une distance donnée dans la direction du vecteur électrique, le nombre des chocs d'un électron avec les molécules du gaz est proportionnel à l'énergie cinétique de l'électron. Ainsi, les électrons à grande énergie d'agitation tendent à perdre beaucoup plus d'énergie en parcourant une distance donnée dans la direction du vecteur électrique que ne le font les électrons à faible énegie.

Cette action régulatrice exerce un effet d'égalisation qui porte l'énergie moyenne d'agitation d'un groupe d'électrons à une valeur fixe déterminée quand les électrons se meuvent dans un champ uniforme.

Les inégalités provenant de variations du libre parcours autour de sa valeur moyenne l et les variations des pertes de l'énergie par chocs autour de la valeur moyenne λE se contrarient donc lorsque les électrons se meuvent dans la direction du vecteur électrique, de sorte que ces causes ne peuvent donner lieu à de grands écarts de l'énergie d'agitation par rapport à sa valeur moyenne.

3. Etude du mouvement des électrons dû a la diffusion. — L'auteur passe à l'étude du mouvement des électrons dû à la diffusion et montre qu'il existe de larges différences dans les vitesses de différents groupes d'électrons dans la direction du vecteur électrique, qui s'accompagnent de grandes inégalités dans les quantités d'énergie perdue par les différents groupes.

Les électrons qui diffusent dans la direction de la force électrique franchissent dans cette direction une distance donnée en un temps plus court et subissent moins de chocs avec des molécules que les groupes qui se meuvent avec leur vitesse moyenne orientée suivant le vecteur électrique. Ainsi, quelques électrons gagnent de l'énergie par diffusion dans le sens de la force électrique s'exerçant sur eux, tandis que d'autres en perdent par diffusion en sens inverse. En fait, l'action qui règle le mouvement général, et qui tend à porter les énergies de différents groupes vers une valeur moyenne déterminée, est, en réalité, un effet moyen, qui détermine un état stationnaire de mouvement où il y a une distribution d'énergie autour de l'énergie moyenne d'agitation due à la diffusion. Cette distribution est indépendante de différences dans les énergies qui peuvent provenir d'autres causes, et elle serait obtenue si toutes les pertes d'énergie par chocs étaient égales à la perte moyenne, et tous les libres parcours égaux au libre parcours moyen. — L. B.

SECTION INDUSTRIELLE

Étude d'un réseau à 400 000 volts

Dans cet article, qui est extrait d'une conférence faite à Lyon, par M. G. Viel, le 29 mai 1929 au cours d'une réunion du Groupe du Sud-Est de la Société française des Electriciens, l'auteur, après avoir rappelé les avantages de l'interconnexion des réseaux de transmission d'énergie électrique, montre comment il serait possible de répartir sur notre territoire l'énergie produite par l'aménagement de toutes les chutes d'eau et d'effectuer des échanges d'énergie avec les pays voisins. A cet effet, envisageant l'utilisation d'une tension de 400 000 volts, il procède à une étude technique des moyens propres à surmonter les difficultés que peut susciter l'emploi d'une tension de valeur aussi élevée. Il étudie ensuite le prix de revient de la transmission de l'énergie dans de telles conditions tant pour l'énergie d'origine hydraulique que pour celle d'origine thermique, et termine en montrant comment un réseau à 400 000 volts couvrant le territoire français pourrait être étendu à toutes les nations d'Europe, dont les richesses hydrauliques disponibles seraient mises en valeur et réparties judicieusement dans le but de parer à l'insuffisance de la production houillère d'un certain nombre de pays européens, notamment de la France, et, d'une manière générale, de réduire la consommation mondiale de charbon.

I. **Etude technique.** — A. **Considérations générales.** — C'est un lieu commun de dire que les besoins d'énergie augmentant sans cesse, les nations ont le plus grand intérêt à aménager intégralement leurs ressources hydrauliques. Nous reviendrons sur ce point, avec chiffres à l'appui, au moment de conclure.

Les centres de production étant, en général, très éloignés des centres de consommation, on est ainsi conduit à adopter des tensions élevées pour la transmission de l'énergie.

Il est facile d'établir que des tensions supérieures à 220 000 v seraient indispensables pour la complète mise en valeur des ressources hydrauliques d'immenses territoires tels que l'Europe ou les Etats-Unis et même de la France. Nous montrerons que ce but pourrait être atteint grâce à des tensions de 400 000 à 500 000 v et nous indiquerons, à titre d'exemple, quelques moyens techniques de les réaliser. Enfin, nous vérifierons que des réseaux construits pour de telles tensions seraient d'un rendement financier excellent, qu'ils permettraient de porter la richesse dans les régions actuellement les plus déshéritées et que leurs répercussions profondes, dans tous les domaines, ouvriraient une ère nouvelle.

B. **Cas de la France : Enoncé du problème.** — Le problème que nous nous sommes posé est celui de répartir sur tout le territoire de notre pays les 7,5 millions de kilowatts qu'y peuvent fournir les cours d'eau et d'échanger avec les pays voisins les excédents d'énergie disponibles de part et d'autre, suivant le rythme des saisons et des crises industrielles.

Par approximations successives, nous avons été conduits à considérer comme valeur de la tension d'utilisation le chiffre de 400 000 v.

Une ligne en aluminium à trois câbles, de 840 mm² de section utile, permet de transmettre, dans certaines conditions, une puissance de 400 000 kw à 1 000 km sans chute de tension. Avec quelques lignes semblables on pourrait envoyer aux régions industrielles de Paris, du nord de la France et au delà, et dans d'excellentes conditions, l'énergie produite en toutes saisons dans les Pyrénées, les Alpes et le Massif central ; les excédents seraient dirigés sur la Belgique, la Hollande et les autres pays voisins.

Les phénomènes de capacité gênants à partir de 400 000 v permettent, au contraire, jusqu'à cette valeur, de supprimer les chutes de tension et de rendre la transmission réversible.

C'est par misonéisme, sans doute, qu'on n'a pas encore envisagé l'emploi de telles tensions, malgré les difficultés éprouvées partout, aujourd'hui, à transmettre au loin les grandes puissances nécessaires à nos besoins. En effet, les obstacles au doublement des tensions maintenant en usage, ne sont pas insurmontables.

Les deux principales difficultés, quant à la construction des lignes, résultent de l'effet de couronne et de l'insuffisance des isolateurs dont nous disposons. Nous allons les examiner avec quelque détail.

C. **Difficultés rencontrées dans la construction des lignes à très haute tension.** — 1. Effet de couronne. — On évite la production de l'effet de couronne et ses graves inconvénients (perte d'énergie et production de courant harmonique d'ordre 3) en augmentant la section des conducteurs et en leur donnant un écartement suffisamment grand. Augmenter la section au fur et à mesure qu'on adopte des tensions plus grandes serait une solution vicieuse s'il s'agissait de transmettre des puissances de l'ordre de 50 000 ou 100 000 kw seule-

ment; mais dans l'hypothèse que nous étudions, il n'y a pas incompatibilité; les très fortes sections sont, en tout état de cause, nécessaires, eu égard aux puissances considérables mises en jeu et aux très grandes distances à parcourir.

Par tâtonnements, nous avons fixé le diamètre des câbles conducteurs à 8 cm en plaine et à 9 cm en montagne, c'est-à-dire aux altitudes supérieures à 300 m et inférieures à 1 500 m.

La distance entre les câbles et la distance d'un câble au sol ne seraient pas inférieures à 10 m. Dans ces conditions, la tension critique d'apparition d'effluves ne serait jamais atteinte. En cas de surtension doublant la tension normale, l'effet de couronne absorberait plusieurs centaines de kilowatts par kilomètre et constituerait un déchargeur, ainsi qu'un parafoudre parfait.

Pour obtenir ce câble de 8 ou 9 cm de diamètre, on pourrait utiliser une barre métallique enroulée sur champ en hélice à la manière d'un ressort constituant une âme creuse et souple sur laquelle les fils conducteurs viennent s'enrouler en une ou plusieurs couches (fig. 1). Ce dispositif a été employé en Allemagne pour

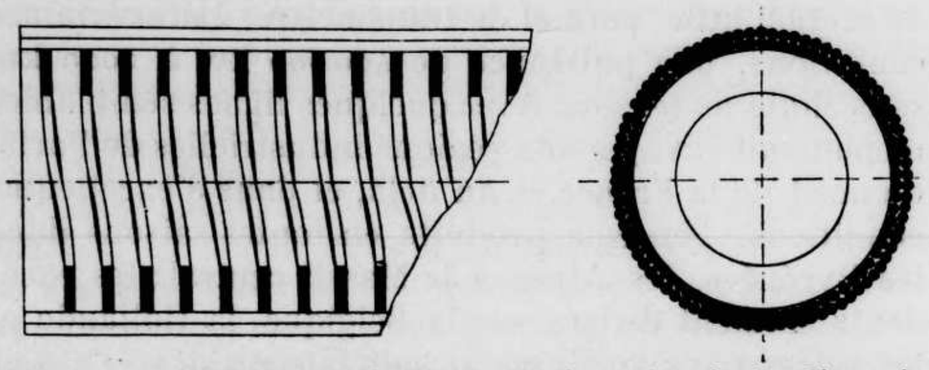


Fig. 1. — Câble pour ligne à 480 kv, d'après la disposition adoptée pour la ligne à 380 kv de Neuenahr à Rheinau.

la construction d'une ligne fonctionnant à 220 000 v, mais prévue pour marcher éventuellement à 380 000 v.

Un tel conducteur présenterait, croyons-nous, de graves défauts pour les gros diamètres que nous envisageons. Il n'a d'ailleurs été appliqué, jusqu'ici, qu'à un câble de 4 cm de diamètre. Ses inconvénients seraient l'absence de maniabilité, la fragilité, les difficultés d'enroulement, de transport, de manchonnement et d'amarrage sur les isolateurs, etc.

Pour le cas qui nous occupe, le conducteur pourrait être constitué par plusieurs câbles de section courante, les uns en aluminium, les autres en acier, le tout entouré d'une mince gaine d'aluminium, ou plus économiquement, d'acier inoxydable, en deux pièces, supportée par les conducteurs (fig. 2) (1).

Chaque câble serait manchonné et amarré séparément, le réglage se faisant par plusieurs palans, sans difficulté, suivant les procédés habituels.

Au droit des pylônes, le champ électrostatique serait renforcé par la présence des cornières. On y obvierait en portant le diamètre à 11 ou 13 cm, résultat facile à obtenir en évasant la gaine au voisinage des pylônes.

Naturellement, le matériel d'équipement de la ligne ne présenterait aucun angle vif. Le rayon de courbure

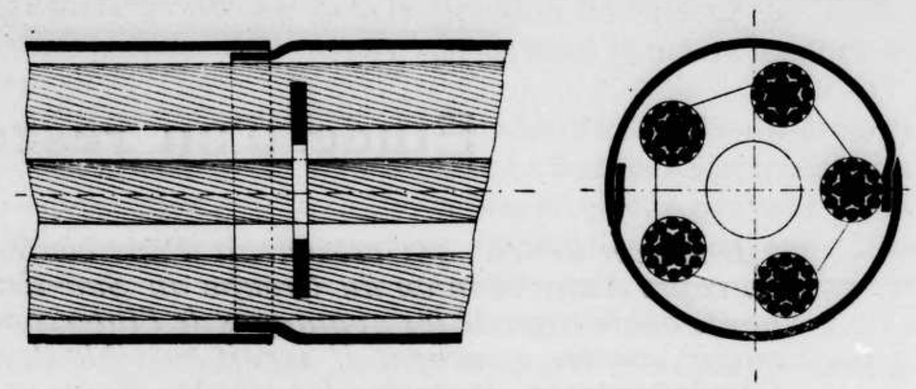


Fig. 2. — Dispositif proposé pour le câble à 480 kv en vue de supprimer l'effet de couronne.

des surfaces ne descendrait pas au-dessous de 13 cm environ; en particulier, les palonniers d'amarrage seraient entourés d'un carter qui se raccorderait sur le conducteur.

Les spécifications du câble proposé sont les suivantes: diamètre extérieur, 80 mm; section de l'aluminium, 840 mm²; section de l'acier, 200 mm². La gaine extérieure serait en tôle d'acier inoxydable.

2. Isolateurs. — 1° *Fil d'équilibre.* — Les éléments d'un isolateur à chaîne, servant à la suspension et à l'isolement des câbles qui transmettent l'énergie électrique à haute tension, sont soumis à des différences de potentiel très inégales. Aussi, la plupart de ces éléments travaillent peu et, quel que soit leur nombre, on n'arrive pas à soulager suffisamment les premiers.

Pour pallier à ce grave inconvénient, on a augmenté la capacité des premiers éléments et modifié le champ par un berceau placé concentriquement à chaque extrémité de la chaîne. Mais la répartition reste mauvaise et la tension de contournement d'une chaîne croît beaucoup moins vite que le nombre d'éléments.

Pour remédier à cet inconvénient, au moins dans une certaine mesure, nous proposons un autre moyen. Il consiste à relier les éléments de même rang des différentes chaînes par un câble métallique que nous appellerons « fil d'équilibre » (1) et à insérer entre ce fil d'équilibre et le câble de la ligne une impédance (résistance, self-inductance, capacité ou combinaison quelconque de ces divers éléments) dont la valeur est déterminée expérimentalement pour chaque cas particulier. Cette impédance a pour effet de shunter plus ou moins les isolateurs compris entre le fil de ligne et le fil d'équilibre. On peut ainsi imposer aux éléments, constituant la chaîne, une répartition plus favorable du potentiel et, par conséquent, en diminuer le nombre tout en augmentant notablement le coefficient de sécurité de la chaîne entière.

Prenons un exemple : on se rend aisément compte

(1) Cette disposition a fait l'objet d'une récente demande de brevet.

(1) Brevet en France et aux Etats-Unis.

que l'isolement d'une ligne de 500 kv nécessiterait des chaînes formées de 15 éléments Hewlett au minimum.

La répartition du potentiel avec une telle chaîne est tout à fait défectueuse, même aux tensions voisines de celle de contournement. L'emploi des dispositifs d'égalisation actuellement en usage ne pourrait guère être envisagé ici, par suite de l'importance de la chaîne.

Le problème est grandement simplifié par l'installation d'un fil d'équilibre (réunissant, par exemple, le milieu de toutes les chaînes), auquel on impose une tension égale à la moitié de celle à laquelle est soumise la chaîne totale : on retombe alors, à peu près, au cas bien connu de la répartition sur une chaîne de 7 ou 8 éléments (fig. 3).

La répartition du potentiel sera améliorée notablement en marche normale et davantage encore aux tensions voisines de celle de contournement, car elle est, toutes choses égales, bien meilleure sur une chaîne de 8 éléments que sur une chaîne de 15 éléments.

Le problème de l'égalisation des tensions par des dispositifs actuellement en usage (capots, boucliers, etc.) sera fort simplifié, car il ne se posera plus que pour deux chaînes presque indépendantes et, par suite, de longueur moitié moindre.

Ce câble d'équilibre conserve une propriété des plus utiles, mentionnée dans le texte de notre brevet: il peut être employé, si on le constitue par un câble d'acier à haute résistance, comme câble porteur. Grâce à une demi chaîne intermédiaire, ou bien les flèches des conducteurs principaux et la hauteur des pylônes pourraient être diminuées, ou bien, avec les mêmes supports, la portée moyenne pourrait être augmentée

Il serait encore possible d'employer le fil d'équilibre comme conducteur d'énergie, à une tension moindre que celle des câbles principaux, celle de 150 000 v, par exemple. Il serait alors placé entre les neuvième et dixième éléments, le raccordement sur les transformateurs s'effectuant sur des prises appropriées pratiquées sur les enroulements.

On conçoit aisément les avantages importants qui en résulteraient, puisque sans isolateurs ni pylônes supplémentaires, on disposerait d'une ligne puissante à 150 000 v. Elle longerait la ligne principale et permettrait, sur tout le parcours, des échanges entre réseaux à 150 000 v sans postes intermédiaires à 400 000 v.

2° *Influence de la longueur des attaches.* — En étudiant les éléments des isolateurs employés sur nos lignes à 120 000 v, nous avons constaté que leur distance ne correspondait pas à une utilisation optimum et avons trouvé qu'on peut augmenter la tension de contournement de la chaîne en allongeant les attaches (1).

Nous étudierons l'isolement des lignes à 500 kv avec des éléments Hewlett, du modèle utilisé dans nos expériences.

(1) Voir à ce sujet : G. Vial; Résultats d'essais effectués sur des isolateurs suspendus; étude de l'influence de la longueur des attaches. *Revue générale de l'Electricité*, 22 décembre 1928, t. XXIV, p. 945-948.

Sous pluie. — Sous la pluie très violente et très conductrice produite au cours des essais, nous avons constaté que pour des rallonges de 10 cm, la tension de

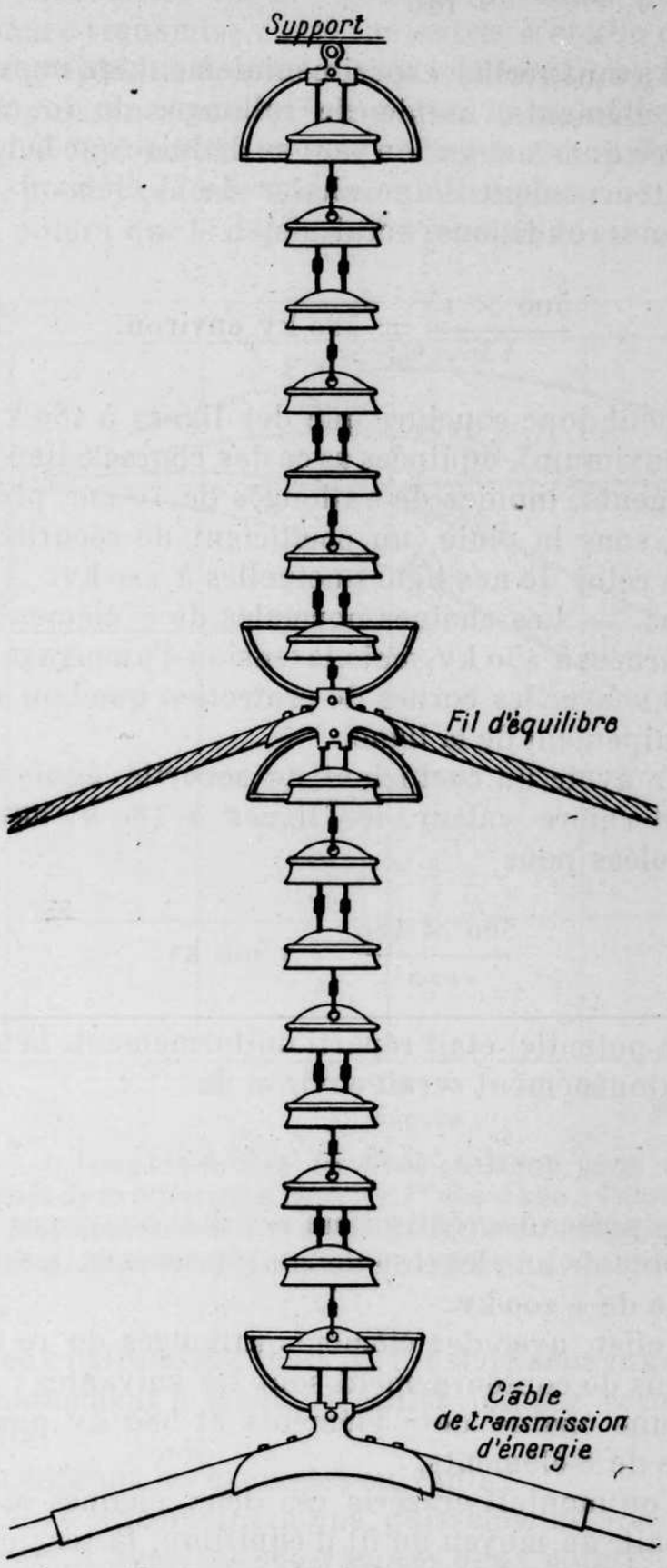


Fig. 3. — Chaîne d'isolateurs avec fil d'équilibre pour ligne à 500 000 v.

contournement devenait proportionnelle au nombre d'éléments.

La tension de contournement d'une chaîne normale de 7 éléments, employée sur nos lignes à 120 kv, soit

$$\frac{120}{\sqrt{3}} \quad \text{entre phase et terre,}$$

est de 130 kv. Pour avoir le même coefficient de sécurité sur des lignes dont la tension maximum serait de 480 kv, soit

$$\frac{480}{\sqrt{3}} \quad \text{entre phase et terre,}$$

il faudrait que la chaîne fût contournée à

$$\frac{130 \times 480}{120} = 520 \text{ kv.}$$

Nous avons vérifié, expérimentalement, qu'une chaîne de 13 éléments, munie de rallonges de 10 cm, ne s'amorce qu'à 500 kv; on peut en déduire que la tension de contournement d'une chaîne de 15 éléments, dans les mêmes conditions, serait de

$$\frac{500 \times 15}{13} = 580 \text{ kv environ.}$$

On peut donc conclure que des lignes à 480 kv (tension maximum), équipées avec des chaînes Hewlett de 15 éléments, munies de rallonges de 10 cm, présenteraient, sous la pluie, un coefficient de sécurité supérieur à celui de nos lignes actuelles à 120 kv.

A sec. — Les chaînes normales de 7 éléments sont contournées à 430 kv, mais la tension d'amorçage tombe à 380 kv avec les cornes de protection que l'on adjoint à l'équipement de la ligne.

Pour avoir un coefficient de sécurité équivalent à cette dernière valeur, les lignes à 480 kv devraient être isolées pour

$$\frac{380 \times 480}{120} = 1\,500 \text{ kv.}$$

Si le potentiel était réparti uniformément, la tension de contournement serait environ de

$$95 \times 15 = 1\,430 \text{ kv.}$$

Sans prétendre réaliser un résultat aussi parfait, on peut obtenir une tension de contournement suffisante, voisine de 1 200 kv.

En effet, avec des éléments rallongés de 10 cm, les tensions de contournement sont les suivantes : 550 kv pour une chaîne de 7 éléments et 580 kv pour une chaîne de 8 éléments.

Si l'on montait en série ces deux chaînes et si l'on imposait, au moyen du fil d'équilibre, la tension convenable à leur point de jonction, la somme des tensions de contournement serait de 1 130 kv.

Pratiquement, ce chiffre ne serait pas tout à fait atteint, car la répartition sur la chaîne la plus voisine de la ligne est moins bonne dans ce cas que lorsqu'une de ses extrémités est reliée à la terre.

On y obvierait, par exemple, par l'emploi de trois anneaux placés, l'un, à une extrémité de la chaîne du côté de la ligne, l'autre, sur l'isolateur relié au fil d'équilibre; le troisième enfin, à l'autre extrémité de la chaîne.

Le coefficient de sécurité à sec correspondant à une tension de contournement voisine de 1 200 kv serait

$$\frac{1\,200\sqrt{3}}{480} = 4,3,$$

contre

$$\frac{380\sqrt{3}}{120} = 5,5$$

pour les lignes actuelles à 120 000 v.

Si l'on tient compte de la moindre importance, toutes proportions gardées, à la tension de 400 000 v des surtensions d'origine extérieure et de la limitation automatique des surtensions internes par les effluves, on peut admettre que le coefficient 4,3 est très suffisant.

Comme il est plus important d'obtenir un coefficient de sécurité élevé sous la pluie qu'à sec, on peut conclure de ce qui précède que la sécurité offerte par les lignes à 480 kv, isolées avec 15 éléments Hewlett, munis de rallonges de 10 cm, dépasserait celle de nos lignes actuelles à 120 kv.

La résistance mécanique des chaînes actuelles serait suffisante pour assurer un coefficient de sécurité convenable en alignement. Dans les angles et les arrêts de ligne, on aurait recours à plusieurs chaînes groupées pour travailler en parallèle.

D. Conditions de fonctionnement de la ligne. — 1. Marche a pleine charge. — Une des conditions essentielles du bon fonctionnement est de maintenir une tension constante de 400 000 volts à chaque poste de réception, pour la puissance maximum de 400 000 kw que nous nous sommes fixée par ligne. En outre des considérations économiques qui nous ont conduit à ce chiffre, nous verrons, dans la suite, quels avantages techniques en résultent.

Sur le graphique de la figure 4, les ordonnées représentent les tensions en ligne et les abscisses, les longueurs jusqu'à 1 000 km pour une puissance de 400 000 kw et pour une tension de 400 000 v à l'arrivée.

Les différentes courbes correspondent à diverses puissances réactives transmises, c'est-à-dire à plusieurs facteurs de puissance. On voit que pour un facteur de puissance de 0,8 la chute de tension est de 40 pour 100 pour 1 000 kilomètres.

Pour un facteur de puissance égal à l'unité, la chute de tension devient négative et n'est plus que de 4 pour 100. Avec un léger déphasage en arrière, on obtiendrait une tension égale aux deux extrémités, ce qui rendrait facile la réversibilité de la transmission.

D'ailleurs, seule cette dernière marche est possible. En effet, les postes de transformation à 400 000 v, auxquels aboutiraient les lignes à 120 000 v ou à 150 000 v, apportant les excédents des plus proches usines, ne pourraient, eux-mêmes, être alimentés qu'à des tensions presque constantes. Autrement, on s'engagerait dans d'inextricables difficultés.

2. Fonctionnement a vide. — La courbe 1 de la figure 5 donne la tension en ligne lorsque le courant à l'arrivée est nul et que la tension est de 400 000 v au même point. La tension, au départ, pour une longueur de 1 000 km.

serait de 180 000 v environ, c'est-à-dire 45 pour 100 de la tension à l'arrivée. Le courant, au départ, serait de 590 ampères,ce qui exigerait l'immobilisation d'une puissance de 400 000 kv-A fournie par des alternateurs fonctionnant à 45 pour 100 de la tension normale.

Nous avons signalé, précédemment, la quasi impossibilité d'avoir des variations de tension au départ. Le

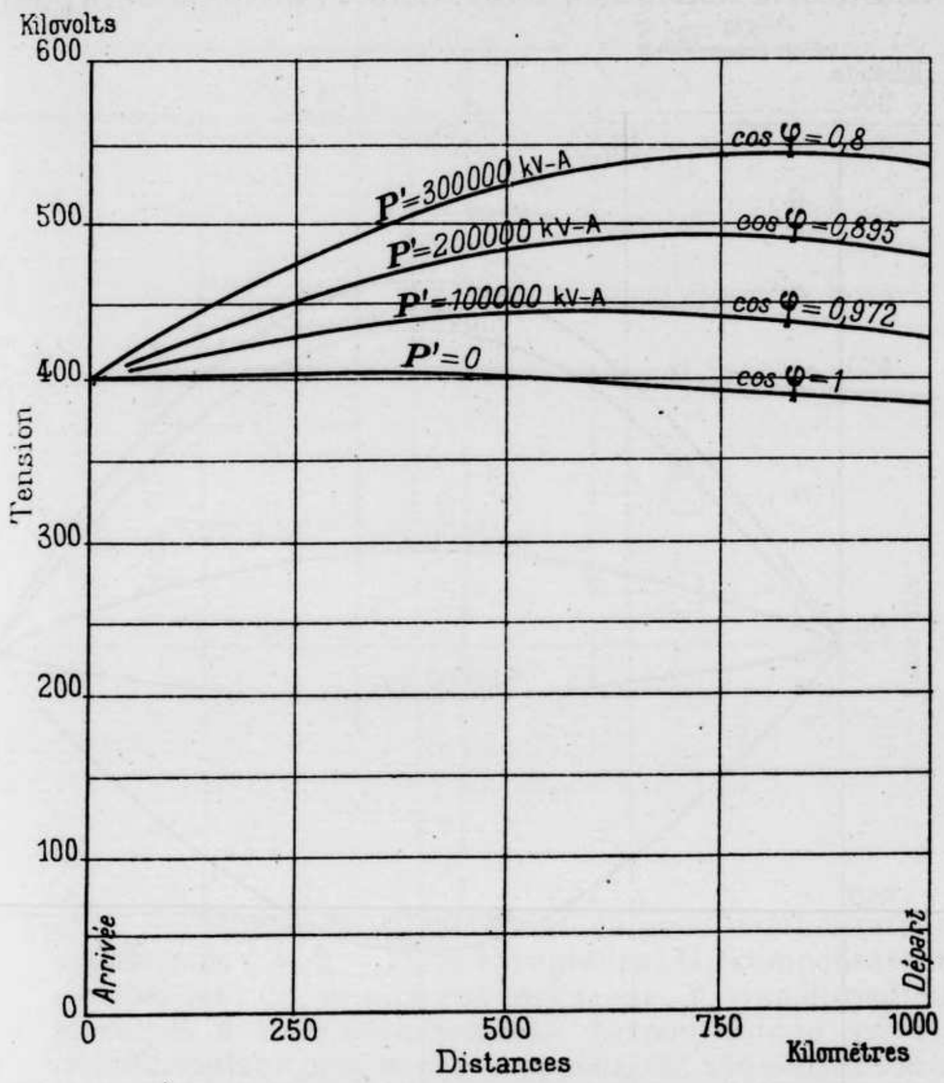


Fig. 4. — Graphique des tensions en ligne en fonction des longueurs de transmission pour diverses valeurs du déphasage en arrière. Cas du fonctionnement à pleine charge d'une ligne transmettant 400 000 kw avec tension à l'arrivée égale à 400 000 v, *P'* étant la puissance réactive.

poste élévateur étant relié,en principe,à divers réseaux de distribution dont le régime de marche ne s'accommoderait pas de telles variations, il faut absorber à l'arrivée de l'énergie réactive.

Les courbes 2, 3 et 4 montrent comment varie la tension au départ pour une puissance active nulle et diverses puissances réactives absorbées à l'arrivée. On voit, notamment, qu'avec une puissance de 300 000 kv-A environ avec déphasage en arrière, on obtiendrait la même tension de 400 000 v aux deux extrémités de la ligne. Les moteurs synchrones destinés à absorber cette énergie réactive seraient d'ailleurs utilisés avec un déphasage en avant, pendant la marche à pleine charge. Ils permettraient de relever le facteur de puissance des réseaux de 0,8 à 1, condition que nous avons reconnue nécessaire. Nous adopterons donc cette valeur de 300 000 kv-A. Ajoutons enfin que la ligne serait coupée tous les 1 000 kilomètres au plus au moyen d'un poste de réception ou d'alimentation.

II. Exploitation. — A. Remarques sur le fonctionnement de la ligne. — Des calculs, que nous ne pouvons développer ici, nous ont amené à conclure que le fonctionnement à la tension constante de 400 000 v aux deux extrémités de la ligne est possible, pour une puissance transmise comprise entre 0 et 480 000 kw. Sur le graphique 6, nous avons représenté, en fonction de la puissance active transmise, la puissance réactive qu'il faut mettre en jeu à chaque extrémité de la ligne, pour y obtenir 400 000 v entre phases.

On notera que le déphasage a presque la même valeur

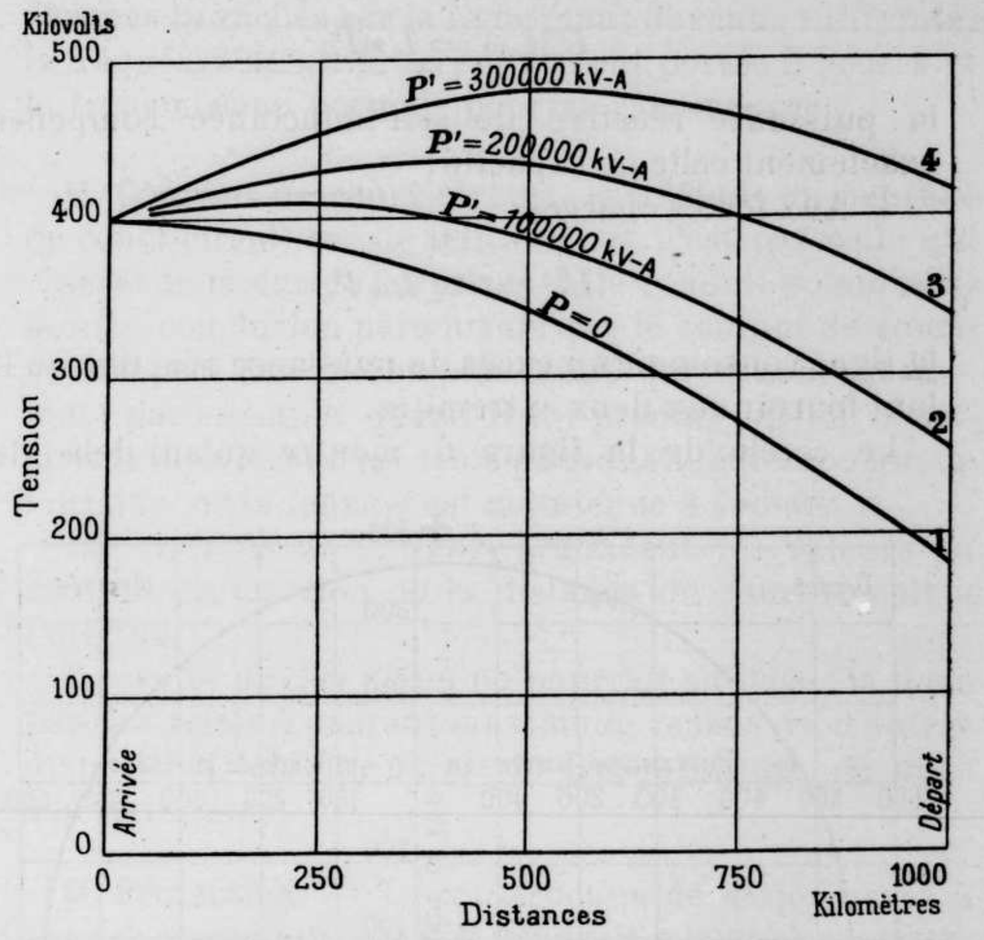


Fig. 5. — Graphique des tensions en ligne pour diverses valeurs de la puissance réactive *P'* absorbée à l'arrivée. Cas du fonctionnement à vide de la ligne du graphique de la figure 4, avec tension à l'arrivée égale à 400 000 v.

aux deux extrémités, mais qu'il est de sens inverse. Le fonctionnement à tensions égales impose cette particularité.

Considérons les exemples suivants :

1° Nous transmettons une puissance de 200 000 kw de D vers A avec 400 000 v en ces deux points.

Le déphasage du courant en A sera de 0,7 en arrière de la tension, tandis qu'en D il sera de 0,7 en avant de la tension ;

2° Nous transmettons 450 000 kw dans les mêmes conditions ; le déphasage est de 0,990 en avant, à l'arrivée, et de 0,995 en arrière, au départ ;

3° Aux deux extrémités, le déphasage est presque nul,pour 420 000 kw et la transmission ne donne lieu à aucune chute de tension.

L'inversion de signe du déphasage aux deux extrémités exprime que le sens de circulation de la puissance réactive, en ces deux points, est aussi inverse. La ligne fournit ou absorbe donc simultanément de l'énergie réactive à ses deux extrémités.

On peut expliquer ainsi le phénomène : la puissance réactive produite par la capacité de la ligne, $U'^2 C\omega$, varie peu avec la charge, tandis que la puissance réac-

tive absorbée par la self-inductance, $L\omega I^2$, croît avec la valeur absolue de I.

Il en résulte que :

1° Aux faibles charges,

$$U'^2 C\omega > L\omega I^2,$$

la ligne produit un excès de puissance réactive, qu'il faut absorber aux deux extrémités ;

2° A la puissane critique de 420 000 kw,

$$U'^2 C\omega = L\omega I^2,$$

la puissance réactive de self-inductance compense exactement celle de capacité ;

3° Aux fortes charges,

$$U'^2 C\omega < L\omega I^2,$$

la ligne consomme un excès de puissance réactive qu'il faut fournir aux deux extrémités.

Le cercle de la figure 6 montre qu'au delà de

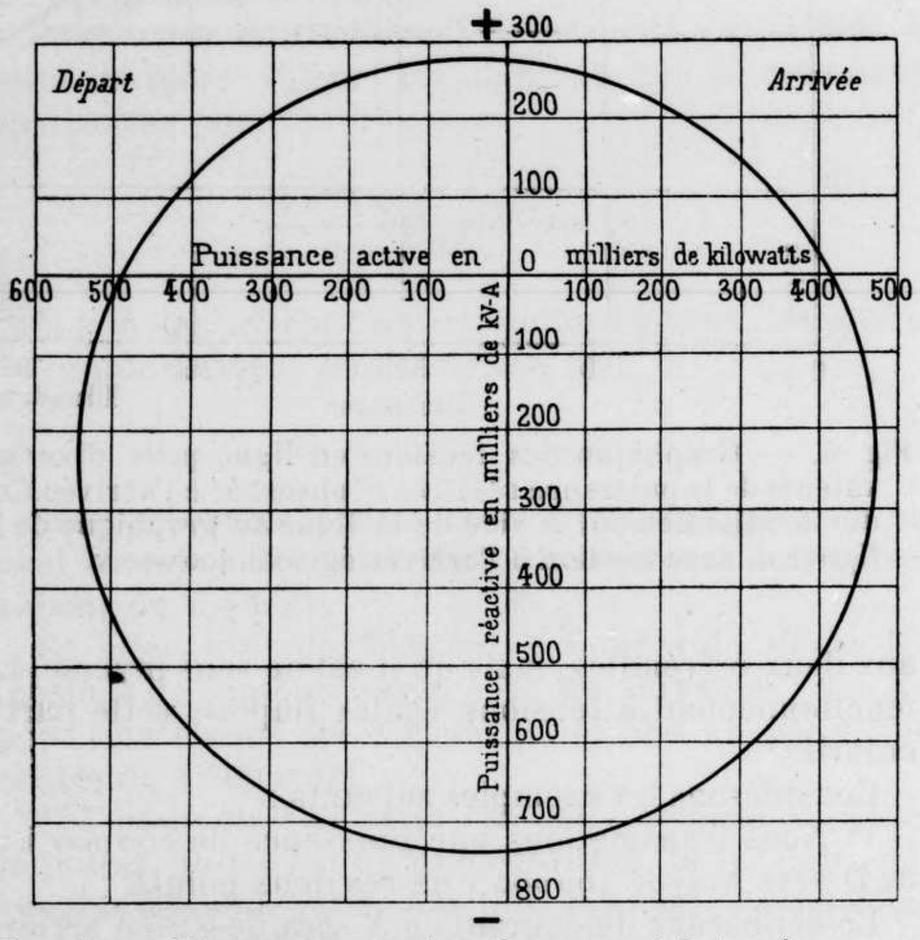


Fig. 6. — Diagramme du fonctionnement à tension constante d'une ligne de 1 000 km de longueur avec tension au départ et tension à l'arrivée égales à 400 000 v, donnant la puissance réactive à absorber à l'arrivée et au départ en fonction de la puissance active, mesurée aux mêmes points.

480 000 kw, pour une distance de 1 000 km, il ne serait plus possible d'avoir la même tension aux deux extrémités.

Par contre, pour des tronçons de lignes plus courts, la puissance transmissible s'élève aux valeurs suivantes : 580 000 kw pour 750 km ; 800 000 kw pour 500 km ; 1 500 000 kw pour 250 km.

Ces chiffres montrent qu'une ligne à 400 000 v est d'un fonctionnement très souple, notamment si les postes sont rapprochés, et que, pour l'édifier, il faudra surtout tenir compte de l'écartement des postes, puisqu'on ne diminue guère les chutes de tension en augmentant la section des câbles.

La réversibilité de la transmission n'exigerait aucune disposition spéciale. Les réseaux, au départ et à l'arrivée, garderaient leur indépendance du point de vue de la tension

Les courbes de la figure 7 indiquent, pour différentes charges, la tension en ligne. Celle-ci ne dépassera point

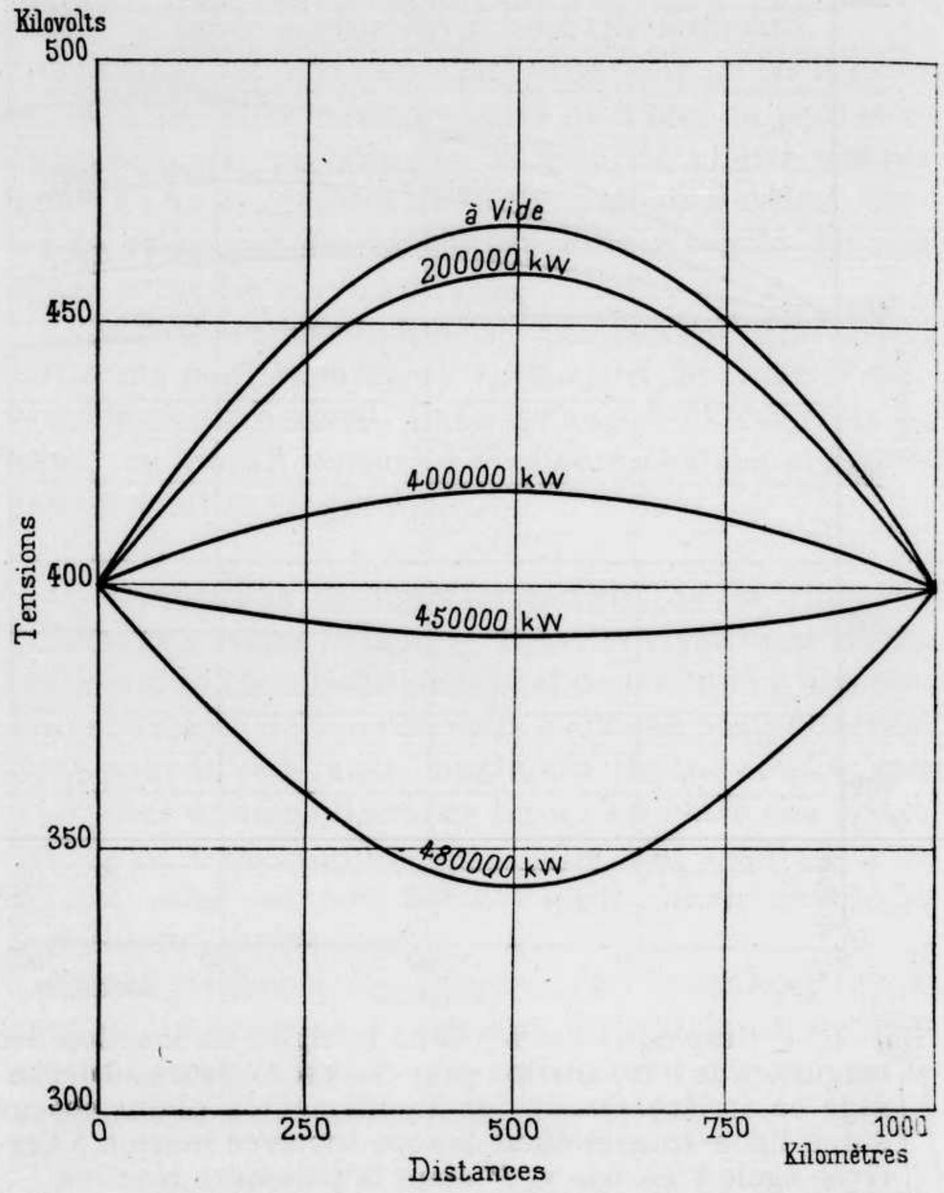


Fig. 7. — Graphique du fonctionnement à tensions égales et constantes sur une ligne de longueur égale à 1 000 km : tensions en ligne à des charges comprises entre 0 et 480 000 kw.

470 000 v. On isolera donc la ligne pour cette tension. La surtension, inférieure à 20 pour 100, est admissible. Au delà de 1 000 km, elle serait naturellement plus forte ; cela obligerait, au moins sur un court tronçon médian, à renforcer l'isolement et le diamètre des câbles, mais ce cas ne se présenterait vraisemblablement pas.

B. **Mise sous tension.** — On ne pourrait songer à mettre une telle ligne sous tension par la simple fermeture d'un interrupteur. Outre que des phénomènes transitoires dangereux et qu'un appel brusque de courant en résulteraient, la surtension à l'extrémité ouverte serait considérable et engendrerait de graves avaries. D'autre part, tant qu'à l'arrivée les moteurs synchrones ne seraient pas mis en service, il faudrait, au départ, restreindre la tension de 55 pour 100 ; une puissance de 400 000 kv-a d'alternateurs et de réseaux serait

immobilisée, chose peu praticable pour les raisons déjà exposées.

Nous proposons la méthode suivante pour éviter ces difficultés (fig. 8). Elle consisterait à utiliser seulement les moteurs synchrones du poste d'arrivée. Nous supposons qu'on dispose, en ce point, de courant à

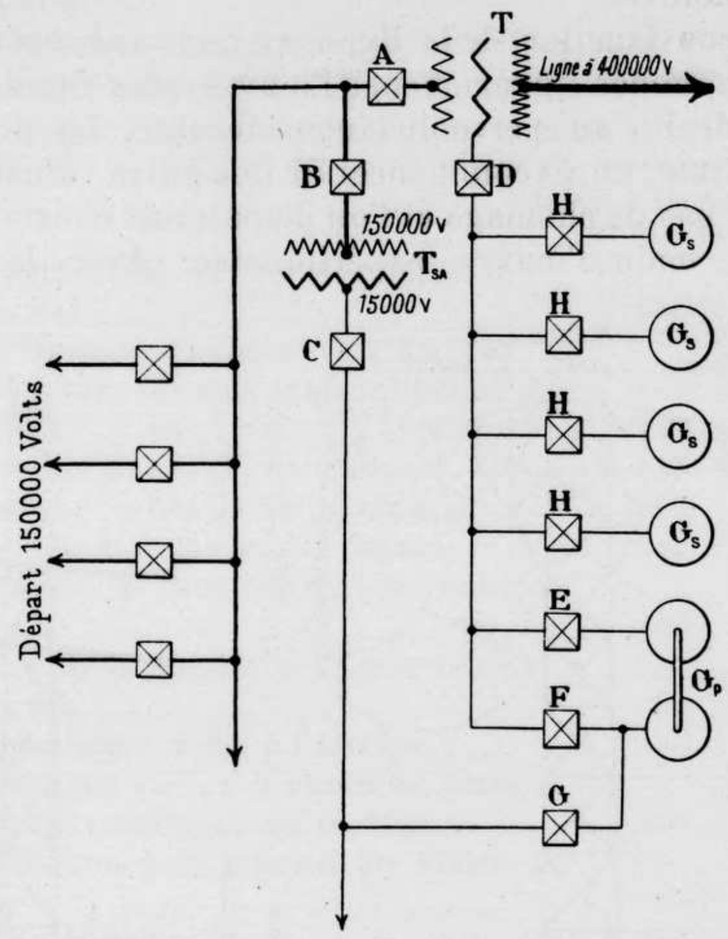


Fig. 8. — Schéma du poste d'arrivée avec compensateurs synchrones : A, B...H, interrupteurs; G_s, compensateurs synchrones; G_p, groupe convertisseur; T, transformateur principal à trois enroulements 400 000/150 000 v; T_{SA}, transformateur pour services auxiliaires 150 000/15 000 v.

150 000 v. Un transformateur de service T_{SA} de 20 000 kw environ permettrait le démarrage des compensateurs synchrones. Un groupe convertisseur composé d'un moteur à vitesse variable entraînant un alternateur, alimenterait un jeu de barres à 15 000 v.

Supposons tous les interrupteurs A, B... H ouverts à l'arrêt. Fermant B et C, on alimente, au moyen du réseau local de distribution, les services auxiliaires du poste. Puis on ferme G, et l'on met en route le groupe convertisseur à la vitesse voulue. Grâce aux interrupteurs E et H, on peut alimenter et faire démarrer les autres compensateurs synchrones à la fréquence et à la tension désirées. Fermant l'interrupteur D, on alimente le transformateur principal et on réalise ainsi la mise sous tension progressive de la ligne. Le groupe convertisseur fournit la puissance active et les compensateurs synchrones, l'énergie réactive.

Lorsque la tension atteint 400 000 v à l'autre extrémité de la ligne, la mise en parallèle avec les réseaux émetteurs étant possible, on ajuste la tension grâce à l'excitation des compensateurs synchrones de l'arrivée; à ce moment, le fonctionnement à vide est obtenu. On peut alors supprimer le groupe convertisseur et l'utiliser lui-même comme compensateur synchrone. Enfin, la mise en charge est réalisée, après une nouvelle mise en parallèle, par la fermeture de l'interrupteur A.

On a prévu un moteur à vitesse variable pour le cas où les compensateurs synchrones ne permettraient pas la mise sous tension à fréquence normale d'un ensemble de tronçons formant une très longue ligne. Cette opération serait alors effectuée par le premier poste à fréquence et tension réduites. Le deuxième serait mis en parallèle avec lui, le troisième avec le deuxième et ainsi de suite. La puissance des compensateurs synchrones branchés sur la ligne étant devenue suffisante, la fréquence serait progressivement portée à 50 p:s et la transmission normale pourrait commencer.

C. **Courant de court-circuit.** — L'étude du courant de court-circuit sur de telles lignes n'est pas celle qui réserve le moins de surprises. Elle conduit notamment à cette conclusion paradoxale que le courant de court-circuit peut être moitié plus faible que le courant normal ; par exemple, quand il est produit par un court-circuit intéressant les trois phases situé à 1 000 km de l'origine, où la tension est maintenue à 400 000 v.

Les courbes de la figure 9 donnent les valeurs du courant en fonction de la distance du court-circuit à l'origine.

Il résulte de ceci qu'on ne pourrait protéger la ligne par des relais à courant maximum, mais avec d'autres dispositifs, tels que relais de déséquilibrage, de mise à la terre, etc.

D. **Protection.** — La construction de disjoncteurs à 400 000 v serait délicate. Il vaudrait mieux s'en passer. On considérerait la ligne et ses transformateurs comme un tout modifiable seulement après qu'on ait supprimé le courant en ouvrant les disjoncteurs à 150 000 v.

On protégerait les réseaux à 150 000 v par des dispositifs de sélection appropriés.

III. **Prix de revient de la transmission d'énergie.** — A. **Description de la ligne.** — On peut placer les trois conducteurs d'une même ligne sur un seul pylône ou sur trois pylônes. Il y aurait avantage, dans ce dernier cas, à poser deux câbles de polarité identique sur chacun des trois pylônes, afin d'obtenir deux lignes en parallèle. Nos devis nous ont montré que du point de vue économique, le premier système (trois conducteurs sur un support) est préférable pour une ligne unique, mais qu'il valait le second quand il s'agit de deux lignes en parallèle. Nous adopterons le premier système parce qu'en vue de l'exploitation, il est très intéressant de séparer nettement les lignes.

La portée moyenne la plus économique est environ de 250 m ; la flèche correspondante est de 7 m.

Sur la figure 10 est représenté un pylône destiné à recevoir deux conducteurs se rapportant à la même phase. La ligne comprendrait trois rangées de pylônes semblables à celui-ci.

Par économie, nous avons adopté un modèle à large base. Le massif de fondations est formé de deux murs

latéraux réunis, au fond de la fouille, par une dalle armée. Cette disposition permet de faire concourir à la stabilité de l'ouvrage le poids des terres situées entre les deux massifs.

La figure 11 montre un pylône pour une ligne simple à trois conducteurs. Les câbles se balancent librement; comme ils sont légers, parce que creux, l'inclinaison des chaînes peut atteindre 45°. Nous avons eu recours, pour les fondations, à deux massifs séparés. Les dimensions de l'ouvrage ont dû être augmentées; sa stabilité n'est pas assurée par les terres, mais cela nous permet de réduire considérablement l'importance des fouilles.

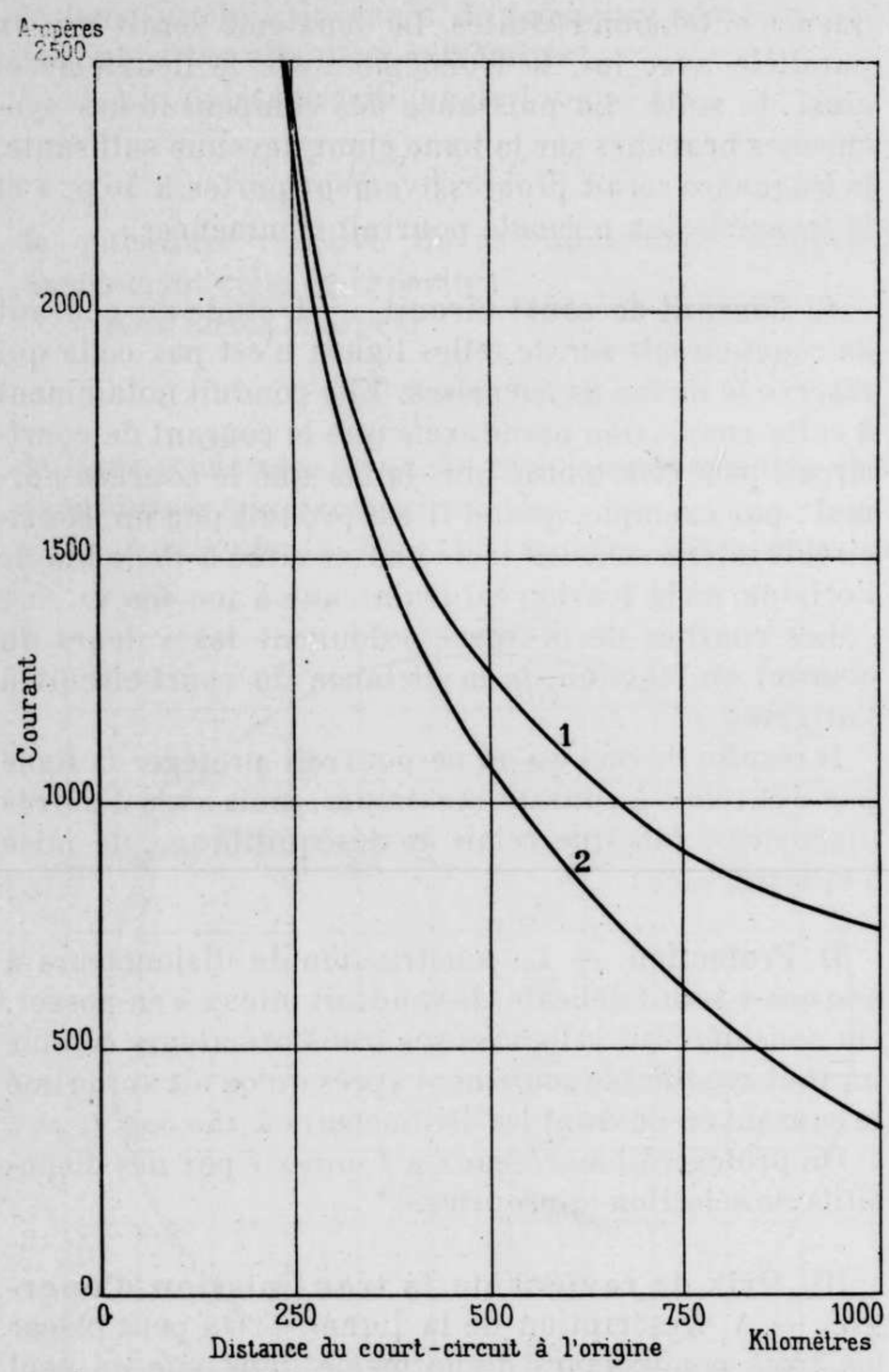


Fig. 9. — Courbes du courant de court-circuit en fonction de la distance du court-circuit à l'origine de la ligne : 1, courant de court-circuit à l'endroit du défaut; 2, courant de court-circuit au départ,

Ce dernier type de pylône a nos préférences, tant pour son prix de revient que pour sa solidité.

Dans tous les calculs, nous nous sommes imposé des coefficients de sécurité élevés.

B. **Capitaux à engager.** — Le devis d'une ligne à trois câbles, telle que nous l'avons envisagée, s'élèverait à 315 000 fr environ par kilomètre. Admettons qu'il faille trois ans après la mise en chantier pour achever les travaux (ce chiffre n'a rien d'exagéré pour une ligne d'une longueur de 1 000 km), le capital nécessaire serait de 30 pour 100 plus élevé que le prix des ouvrages, par suite des frais d'émission et des intérêts intercalaires.

La construction de la ligne, en trois ans, occuperait 1 500 hommes ; pour mener l'œuvre plus rapidement, il faudrait un personnel considérable. La première ligne finie, on en commencerait une autre ; ainsi, il n'y aurait pas de chômage et l'on disposerait constamment d'une main-d'œuvre expérimentée. Avec la même cadence, on construirait les usines hydrauliques et les réseaux secondaires à 150 000 v, correspondant aux puissances qui peuvent être transmises.

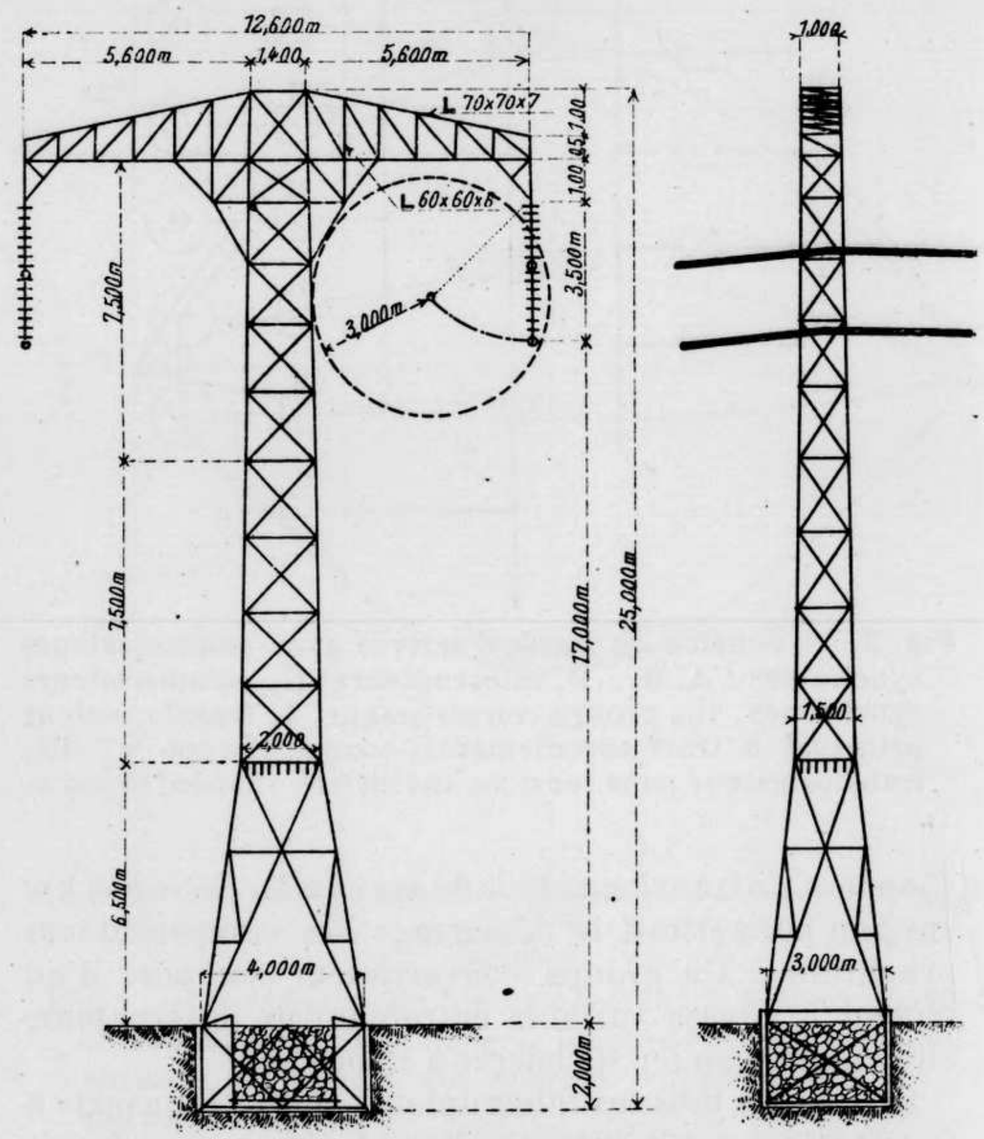


Fig. 10. — Pylône à deux conducteurs pour ligne à 500 000 v.

On pourrait nous objecter les énormes capitaux que nécessiterait un aménagement complet des forces hydrauliques.

Nous allons voir, en les comparant à ceux qu'exigèrent les chemins de fer, qu'ils ne sont pas excessifs.

1. Comparaison entre les capitaux nécessaires pour l'aménagement des forces hydrauliques et ceux qui furent consacrés aux chemins de fer. — En 1906, la longueur des chemins de fer était de 52 000 km en France, 272 000 km en Europe, sans la Russie, 329 000 km en Europe, Russie comprise.

A la même époque, le kilomètre de ligne coûtait en

moyenne 440 000 fr, y compris les frais de bâtiments, d'ateliers et de matériel roulant. Pour traduire ce chiffre en francs actuels, nous le multiplierons par 8. Le prix des réseaux construits jusqu'en 1906 serait donc, en milliards de francs-papier 1929 : France, 184 ; Europe, sans la Russie, 960 ; Europe, Russie comprise, 1 160.

Nous allons comparer ces chiffres aux capitaux qu'exigerait l'aménagement des forces hydrauliques.

Nous avons supputé ces derniers comme il suit :

	Capital à immobiliser par kilowatt.
Usine hydraulique et transformation à ses bornes	4 000 fr
Usine thermique d'appoint (0,4 kw par kilowatt sous forme d'énergie hydraulique, soit : 1 600 fr × 0,4)	640
Transmission à 150 kv au départ, en tablant sur 50 km de longueur	200
Transformation à 400 kv au départ	120
Transmission à 400 kv, en moyenne 500 km	400
Régulation de la tension pour une ligne de 500 km	60
Transformation 400 kv à l'arrivée	120
Transmission à 150 kv à l'arrivée, dans les mêmes conditions qu'au départ	200
Transformation à la tension de distribution	100
Réseau de distribution	100
Transformation en basse tension (en moyenne)	350
Réseaux à basse tension	600
Total	6 890 fr

soit 7 000 fr en chiffres ronds.

D'après des évaluations récentes, les puissances hydrauliques utilisables sont : en France, de $7{,}5 \times 10^6$ kw ; en Europe, sans la Russie, 45×10^6 kw ; en Europe, Russie comprise, 78×10^6 kw.

Comparons aux capitaux requis pour aménager toutes les chutes d'eau, ceux qui furent consacrés aux chemins de fer, par exemple jusqu'en 1906, et que nous avons multipliés par 8 pour tenir compte de la dévalorisation du franc. Notons que ces chiffres sont bien inférieurs aux capitaux actuels des chemins de fer.

	Immobilisations effectuées pour les chemins de fer jusqu'en 1906 valeur en francs 1929	Immobilisations à effectuer pour l'aménagement total des forces hydrauliques
France	184×10^9 fr	52×10^9 fr
Europe, sans la Russie.	960×10^9	315×10^9
Europe, Russie comprise	$1\,160 \times 10^9$	546×10^9

Par rapport à celles des chemins de fer, les dépenses nécessaires à l'aménagement intégral des chutes d'eau et à leur utilisation seraient donc : de 1/3 pour la France, de 1/3 pour l'Europe sans la Russie, de 1/2 pour l'Europe, Russie comprise.

Notons que de 1840 à 1906, les marchés financiers n'avaient pas l'élasticité actuelle.

On voit donc que l'effort nécessaire à la mise en valeur de nos chutes d'eau serait très inférieur à celui qui fut développé pour construire les chemins de fer.

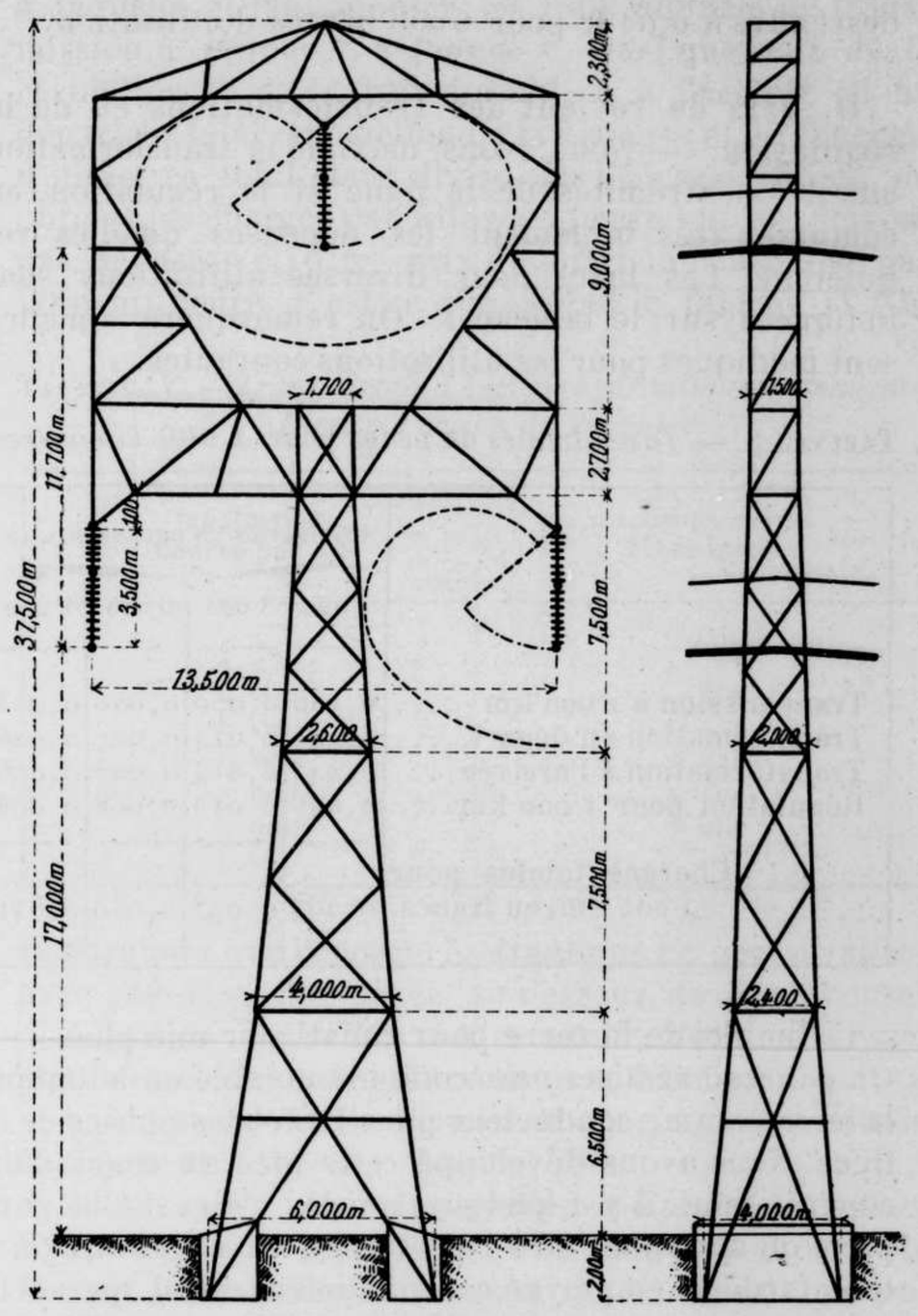


Fig. 11. — Pylône à trois conducteurs pour ligne à 500 000 v.

C. **Prix de revient de la transmission.** — Nous l'avons calculé en nous basant sur 315 000 fr, prix d'un kilomètre d'une ligne de 400 000 kw, et en tenant compte des frais généraux, des charges de capital et d'exploitation, ainsi que des pertes d'énergie.

Les taxes de péage qui résultent de ce calcul et qui varient avec l'utilisation, sont indiquées ci-après.

Utilisation en heures par an.	Péage en francs par kilowatt-heure
1 000	0,136
2 000	0,071
3 000	0,050
4 000	0,039
5 000	0,033
6 000	0,028
7 000	0,025
8 000	0,023

Ces faibles prix prouvent que la transmission à 1 000 km est parfaitement praticable.

La taxe par kilowatt-heure serait de 0,05 fr pour 1 000 km et 3 000 heures d'utilisation. Elle pourrait descendre à 0,03 fr pour 6 000 heures d'utilisation.

D. **Prix de revient des transformations et de la régulation.** — Nous avons maximé la transformation aux deux extrémités de la ligne et la régulation, en comptant très largement les dépenses qu'elles requièrent. Les taxes pour diverses utilisations sont indiquées sur le tableau I. On remarquera qu'elles sont modiques pour les utilisations courantes.

TABLEAU I. — *Taxes totales de péage pour 1 000 kilomètres.*

	UTILISATION EN HEURES PAR AN			
	1 000	3 000	6 000	8 000
Transmission à 1 000 km	0,136	0,050	0,028	0,023
Transformation au départ.....	0,041	0,014	0,007	0,006
Transformation à l'arrivée....	0,041	0,014	0,007	0,006
Régulation pour 1 000 km....	0,046	0,015	0,008	0,006
Charges totales pour 1 000 km, en francs.	0,264	0,093	0,050	0,041

E. **Emploi de la terre pour constituer une phase.** — On pourrait réaliser une économie notable en adoptant la terre comme conducteur pour l'une des phases de la ligne. Nous avons développé cette idée au cours d'un congrès tenu il y a quelques années (1) et dit la surprise qu'aura plus tard l'électricien en voyant qu'on a tant tardé à employer ce conducteur idéal qu'est la terre.

Nous n'indiquerons que certains avantages et inconvénients du système.

Appliqué à une ligne triphasée double ayant les deux fils relatifs à la même phase sur chaque pylône, il a l'avantage d'économiser les câbles, les isolateurs et les supports de l'une des trois phases, c'est-à dire environ le tiers de la ligne.

Mais la tension des conducteurs par rapport à la terre passera de 275 kv à 480 kv. Il faudra augmenter le nombre d'éléments des isolateurs : les difficultés dues à la répartition des potentiels s'aggraveront et obligeront à multiplier les dispositifs d'égalisation : fil d'équilibre (2, peut-être 3), berceaux, boucliers. etc., à augmenter le diamètre des conducteurs par suite d'un effet de couronne plus intense.

Les dépenses nécessitées par ces quelques modifications seraient peu importantes, grâce aux dispositifs que nous avons décrits ailleurs.

Les pylônes auront des bras plus étendus pour parer au balancement de chaînes plus longues. Ils seront, par conséquent, surélevés et renforcés.

(1) Congrès de Paris du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, juillet 1924.

Cependant, là encore, les augmentations de prix seront légères et seront inférieures à l'économie résultant de la suppression d'une ligne sur trois. Les devis auxquels nous sommes arrivés donnent, pour le prix linéique d'une ligne double, 630 000 fr : km sans emploi de la terre et 500 000 fr : km avec emploi de la terre pour constituer une phase.

Nous avons supposé qu'avec ou sans phase à la terre, la ligne fonctionnerait de même, car, dans ces deux cas, les courants de capacité, par phase, sont de même ordre. Si l'on néglige l'énergie dissipée dans la prise de terre, la mise à la terre d'une phase permet d'économiser un tiers des pertes en ligne. Ce disant, nous faisons une erreur inférieure à 4 pour 100 pour des lignes de plus de 500 km.

En nous basant sur le prix de 500 000 fr par kilomètre pour une ligne double capable de transmettre une puissance de 800 000 kw et en opérant comme précédemment, nous avons calculé le prix de revient de la transmission.

Le tableau II indique les péages à appliquer, variables

TABLEAU II. — *Péages à appliquer dans le cas d'une ligne à 400 000 volts avec emploi de la terre pour constituer une phase.*

UTILISATION heures par an	PÉAGE en francs par kilowatt-heure pour 1 000 km
1 000	0,104
2 000	0,054
3 000	0,038
4 000	0,029
5 000	0,024
6 000	0,021
7 000	0,019
8 000	0,017

avec l'utilisation et permet par comparaison avec ceux de la première ligne du tableau I de juger de l'économie obtenue par l'emploi du sol.

IV. **Application à la transmission de l'énergie hydraulique.** — Deux cas peuvent être envisagés : la transmission de simples excédents d'énergie, disponibles périodiquement, ou celle d'énergie permanente en toutes saisons.

A. **Transmission d'excédents d'énergie.** — C'est le prix de revient de l'énergie thermique qui délimite la zone d'action d'une usine hydroélectrique. Supposons un réseau de distribution desservi par une grande usine génératrice thermique consommant, en marche industrielle, 800 g de charbon par kilowatt-heure et cherchons à partir de quelle distance ce réseau aura intérêt à absorber des excédents d'énergie hydraulique.

A l'arrivée, le poste de transformation à 400 000 v sera construit au voisinage de l'usine à vapeur et relié au réseau à haute tension desservi par l'usine.

Supposons qn'à l'extrémité du réseau, le poste à

400 000 v soit alimenté par des lignes à 150 000 v situées dans une zone circulaire ayant 100 km de rayon. Pour aboutir au grand poste, il faudra réaliser, sur 50 km en moyenne, une transmission supplémentaire à 120 000 v ou à 150 000 v, qui coûtera environ 0,006 fr par kilowatt-heure et 32,50 fr par kilowatt et par an (1).

A ces chiffres, il faut ajouter les frais divers de la transmission à 400 000 v variables avec la distance et les charges résultant de la double transformation

La somme obtenue doit être inférieure au prix des 800 g de charbon rendu dans les soutes, c'est-à-dire à 0,16 fr environ, pour qu'il soit avantageux d'arrêter les turbines à vapeur ; elle nous permet de déduire la limite de transmission que nous indiquons dans le tableau III, le prix du courant d'excédent étant supposé nul.

TABLEAU III. — *Transmission d'exédents d'énergie hydraulique. Limite d'action du réseau.*

UTILISATION heures par an	LONGUEURS MAXIMA kilomètres
1 000	223
2 000	1 015
3 000	1 760
4 000	2 450
5 000	3 100
6 000	3 700
7 000	4 270
8 000	4 800

B. **Transmission d'énergie hydraulique permanente.** — Etudions maintenant le cas de sociétés de distribution qui, disposant seulement d'énergie thermique, voudraient aménager des usines hydrauliques puissantes et éloignées, dont le réseau à 400 000 v transmettrait l'énergie.

Ces usines seraient logiquement réparties entre des régions à débit complémentaire et fourniraient une puissance permanente égale à 60 pour 100 de la puissance installée environ.

La puissance installée aux usines hydrauliques coûte en moyenne 4 000 fr par kilowatt ce qui représente, à raison de 14 pour 100 du capital, une annuité de 560 fr.

L'immobilisation pour la puissance thermique est de 1 600 fr par kilowatt. Elle correspond à une dépense annuelle de 240 fr (15 pour 100 du capital), augmentée d'un prix proportionnel de 0,16 fr par kilowatt-heure produit.

Puisque chaque kilowatt d'origine hydraulique permettrait d'éviter l'installation de 0,6 kw d'origine thermique, l'aménagement des chutes d'eau entraînerait, par kilowatt installé, une dépense annuelle supplémentaire de

$$560 - (240 \times 0{,}6) = 416 \text{ francs},$$

à laquelle il faut ajouter les frais annuels de transmission à 150 000 v, à 400 000 v, ainsi que ceux de la régulation et de la transformation à l'arrivée et au départ. Le total est fonction de la distance et de l'énergie utilisée ; ce total étant divisé par l'énergie utilisée, on obtient les charges par kilowatt-heure qui ne doivent pas dépasser 0,16 fr, prix du charbon consommé par kilowatt-heure. C'est ce que traduit le tableau IV. On

TABLEAU IV. — *Transmission d'énergie hydraulique permanente. Limite d'action du réseau.*

UTILISATION heures par an	LONGUEURS MAXIMA kilomètres
3 470	0
4 000	400
5 000	1 110
6 000	1 780
7 000	2 400
8 000	3 000

remarquera que l'énergie hydraulique ne peut rivaliser avec l'énergie thermique au-dessous de 3500 heures d'utilisation annuelle, chiffre admis d'ordinaire sauf pour des chutes exceptionnellement économiques.

Au-dessus de 3500 heures, la zone d'action s'étend rapidement.

Notons qu'en général, on utilisera d'abord les usines hydrauliques, c'est à-dire qu'on leur demandera de fournir la tranche permanente de la consommation. Dans ces conditions, l'utilisation sera de 7 500 heures par an environ et la zone d'action aura 2700 km de rayon.

Quelle que soit la manière d'envisager le problème, un réseau à 400 000 v permettrait de concurrencer l'énergie thermique dans un rayon voisin de 3 000 km. Si l'on tient compte des avantages supplémentaires que présenterait un tel réseau : transmission de l'énergie thermique d'appoint, compensation de l'énergie des régions hydrauliques à régime différent, réduction du nombre des unités des usines génératrices de secours, on constate que le rayon d'action de l'énergie hydraulique serait pratiquement illimité, grâce aux faibles tarifs de transmission que permettraient les lignes de transmission d'énergie à 400 000 v.

V. **Application à la transmission de l'énergie thermique.** — On peut aussi utiliser avantageusement un réseau à 400 000 v pour transmettre au loin de l'énergie provenant d'une grande usine génératrice thermique située, par exemple, dans une région minière. Comparons le prix de la transmission de l'énergie électrique à très haute tension, avec celui du transport du charbon par voie ferrée.

(1) Chiffres appliqués actuellement par des sociétés de transmission d'énergie.

Le transport de la houille, en France, par trains de plus de 180 t, coûte normalement 57,55 fr par tonne pour 500 km et 92,25 fr par tonne pour 1 000 km.

Le prix du transport de 800 g de bon charbon nécessaire à la production de 1 kw-h est donc de 0,04588 fr pour 500 km et de 0,0738 fr pour 1 000 km.

Ce sont ces prix que nous comparerons aux taxes de péage du réseau à 400 000 v.

Supposons une usine génératrice thermique installée sur le carreau de la mine.

La tension est élevée, à partir des machines à 400 000 v. A l'arrivée, elle serait abaissée à 60 000, 120 000 ou 150 000 v. Il y aurait deux transformations, soit une de plus que si l'usine était installée dans le centre de consommation.

Dans ces conditions, nous avons calculé l'utilisation à partir de laquelle la transmission de l'énergie est plus économique que le transport du charbon par chemin de fer. Nous avons trouvé 2 530 heures par an pour 500 km et 2 560 heures par an pour 1 000 km.

Nous avons négligé les frais de manutention au départ et à l'arrivée, dans le cas du transport par voie ferrée. Il se peut, en effet, que pour réaliser une économie importante sur les réfrigérants de condensation, on aménage l'usine génératrice, non pas sur le carreau de la mine, mais sur les bords d'un cours d'eau ; les frais de manutention se retrouveraient alors dans les deux cas ; il n'y a donc pas lieu de les compter.

En résumé, il sera le plus souvent avantageux de produire l'énergie électrique à proximité de la mine et de la transmettre aux centres de consommation éloignés, par une ligne de transmission d'énergie à 400 000 v.

Si l'on brûlait à la mine des charbons très cendreux, dont la faible valeur marchande ne permet pas un long transport, le bénéfice en serait encore augmenté.

On transmettrait souvent les excédents d'énergie hydraulique vers les régions minières, qui sont en général d'importants centres industriels. Pendant la sécheresse, les mêmes lignes transmettraient en sens inverse l'appoint thermique des grandes usines génératrices à vapeur ; elles serviraient donc à deux fins, ce qui diminuerait beaucoup les frais moyens de transmission d'énergie.

VI. **Aperçu du réseau futur.** — De quels principes s'inspirera-t-on pour établir un réseau à 400 000 v?

Ce réseau devra passer par les centres de production d'énergie hydraulique, pour assurer l'écoulement des excédents disponibles et réunir les régions de régimes hydrauliques différents. Il permettra ainsi de faire des échanges et assurera une plus grande régularité de production, sans qu'on ait besoin de recourir à de coûteux barrages d'accumulation.

Il devra encore traverser les bassins houillers susceptibles d'absorber de l'énergie et d'en fournir selon les variations du régime des eaux.

Enfin, il desservira les centres industriels dépourvus de ressources naturelles d'énergie.

A. **Application à la France.** — 1. Description. — Appliquons ces principes à notre pays dont les 7 500 000 kw sous forme d'énergie hydraulique constituent une richesse énorme encore très mal utilisée.

Les trois régions hydrauliques par excellence, Alpes, Massif central et Pyrénées, étant traversées par le réseau à 400 000 v, on enverrait à Paris et dans le nord de la France une puissance permanente considérable, ainsi que des excédents temporaires.

La figure 12 montre ce que l'on pourrait d'abord réaliser pour alimenter les villes les plus importantes, Paris, Lyon, Marseille, Lille, etc.

On prolongerait peu à peu la ligne vers la Belgique, la Hollande, l'Allemagne, pays qui, dépourvus de chutes

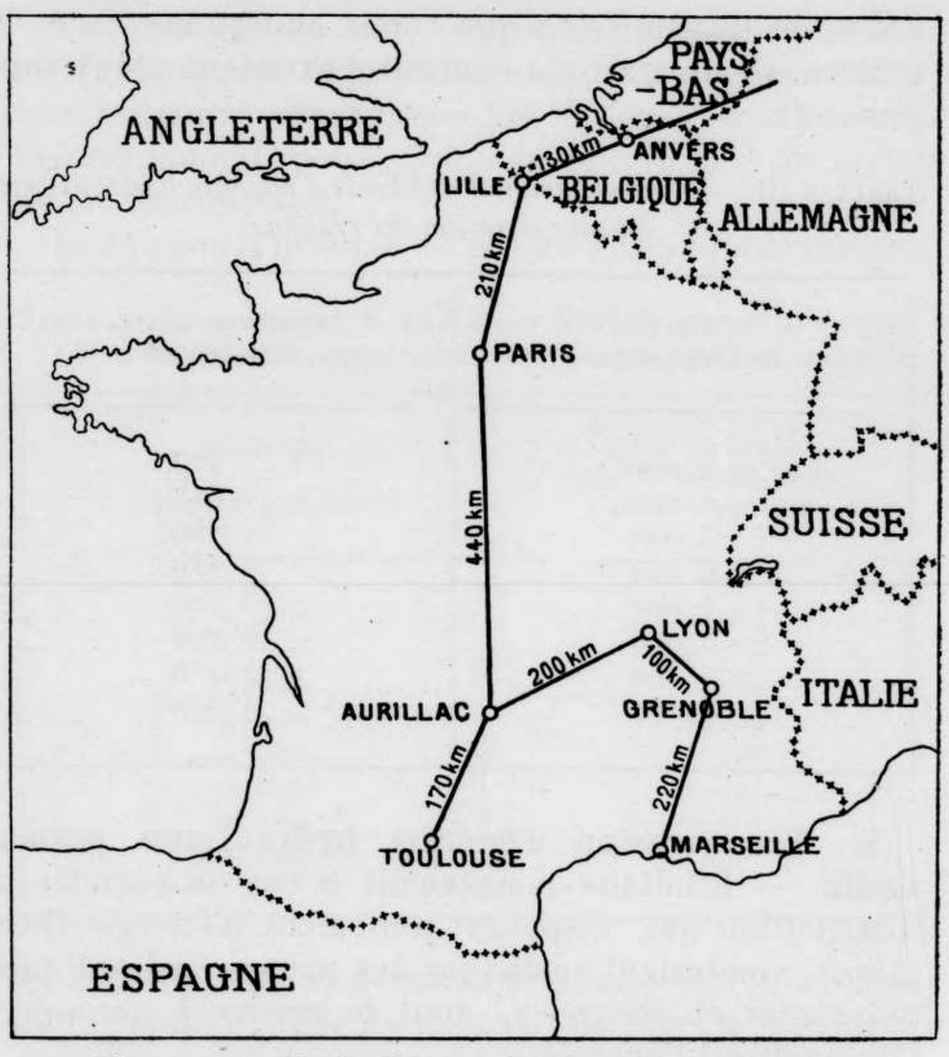


Fig. 12. — Carte d'un projet de réseau français de transmission d'énergie à 400 000 v (première étape).

d'eau, consommeraient avidement tous les excédents qui leur parviendraient. Ils pourraient fournir, en échange, l'énergie d'origine thermique qui nous manque.

Par la suite, grâce au développement de l'industrie et à l'expérience acquise au cours de cette première étape, on établirait un réseau plus complet, pour l'ensemble du pays (fig. 13).

Une ligne venant des Pyrénées desservirait les régions de Bordeaux, de Nantes, de Rouen, du Havre et rejoindrait Lille.

Une autre, partant de Lyon, et réunie aux Alpes, alimenterait Le Creusot et Metz, liant le bassin de la Sarre avec l'Allemagne centrale.

Une artère prolongerait la ligne Aurillac-Paris jusqu'à l'Allemagne du nord, en traversant les bassins houillers de la Belgique et de la Rhur.

Enfin, la jonction avec les pays voisins, tels que

l'Italie et l'Espagne, pourrait être opérée et donner lieu à d'intéressants échanges d'énergie.

2. Utilisations. — On peut montrer, en se basant sur notre évaluation des puissances et des utilisations rela-

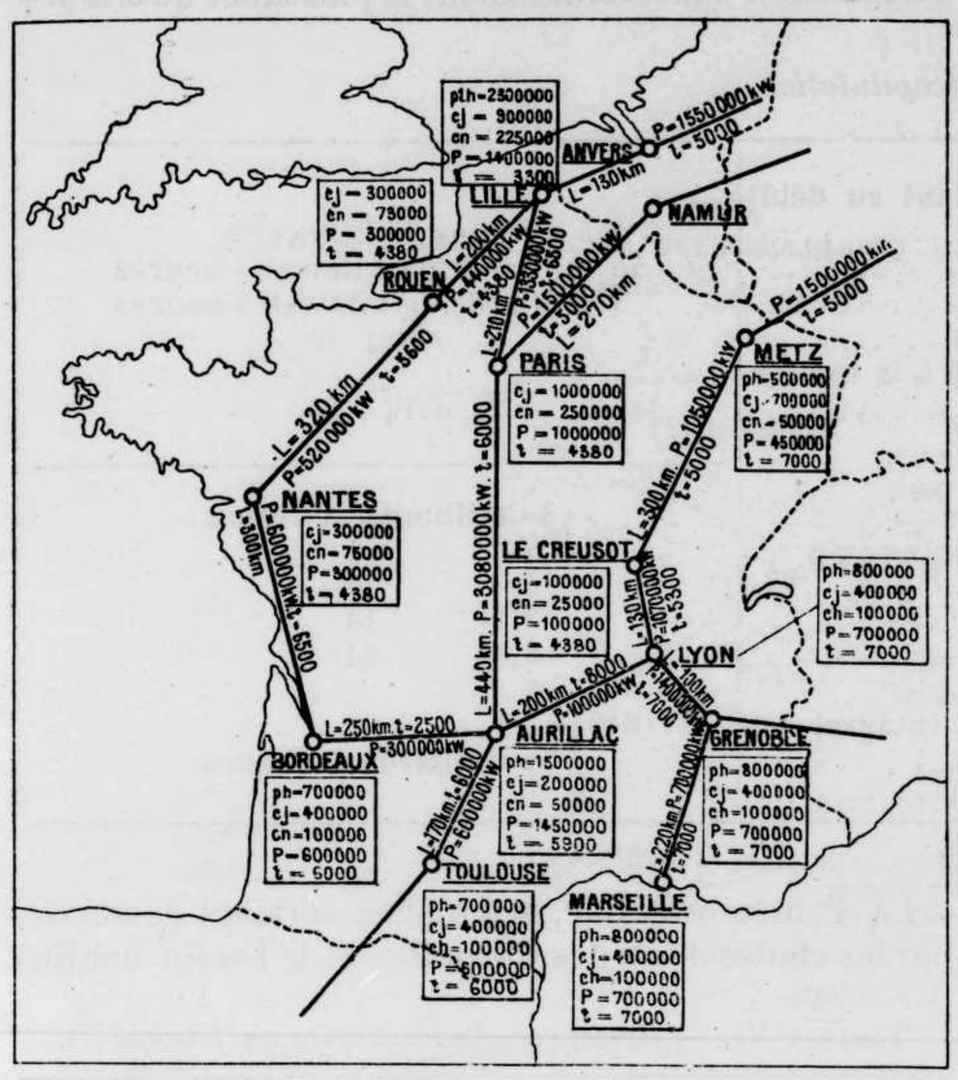


Fig. 13. – Carte d'un projet de réseau français de transmission d'énergie à 400 000 v (réseau définitif) : ph, puissance hydraulique, en kilowatts; pth, puissance thermique, en kilowatts; cj, consommation de jour, en kilowatts; cn, consommation de nuit, en kilowatts; p, puissance du transformateur ou de la ligne, en kilowatts; t, utilisation du transformateur ou de la ligne, en heures par an; l, longueur de la ligne, en kilomètres.

tives aux différentes parties de la distribution, que le réseau que nous venons de décrire, d'une façon sommaire, est économiquement viable.

En 1926, la consommation d'énergie électrique était en France de 300 kw-h par habitant. Elle est voisine, maintenant, de 500 kw-h, soit 20 milliards au total, et s'accroît de jour en jour. Elle sera encore augmentée des utilisations de nuit que généralisera le réseau d'interconnexion et elle atteindra facilement, dans l'avenir, les 50 milliards de kilowatts-heures que nos chutes peuvent produire avec 7.5 millions de kilowatts.

Les chutes les plus onéreuses ne seraient aménagées que plus tard; aussi nous baserons nos calculs sur 5 800 000 kw seulement, dont : 2 400 000 kw pour les Alpes; 1 400 000 kw pour les Pyrénées; 1 500 000 kw pour le Massif central; 500 000 kw pour le Rhin.

On concentrerait ces puissances en des postes installés dans les grands centres industriels : Lyon, Grenoble, Marseille, pour les Alpes; Bordeaux, Toulouse, pour les Pyrénées; Aurillac, pour le Massif central; Metz, pour le Rhin et le réseau à 400 000 v les répartirait entre les autres villes importantes et leur région capables de les absorber : Paris, Lille, Nantes, Rouen, Le Creusot. Le disponible serait envoyé à l'étranger.

En appelant A la puissance nécessaire pendant huit heures de forte charge, nous avons supposé, dans notre étude, que pendant les 16 autres heures restantes de la journée, la puissance mise en jeu serait le quart de la puissance A considérée.

Nous négligeons la pointe de lumière qu'il sera toujours plus intéressant de produire au lieu même de consommation par des usines hydrauliques de pointe, des moteurs Diesel, ou des usines à vapeur anciennes, le rendement n'ayant pas d'importance pour des utilisations de 200 à 300 heures par an.

Nous avons encore admis que la puissance thermique d'appoint (40 pour 100 de la puissance hydraulique) serait concentrée dans le bassin houiller du nord de la France (région du poste de Lille).

Enfin, l'étude du débit des rivières nous a conduits à poser que la production annuelle des usines hydrauliques, supposées aménagées pour le débit semi-permanent, est réduite, du fait de l'étiage, des fractions suivantes : 14 pour 100 dans les Alpes et pour le Rhin; 17 pour 100 dans les Pyrénées; 30 pour 100 dans le Massif central; c'est-à-dire que l'utilisation maximum possible d'une chute installée dans les Pyrénées, par exemple, est de

$$8760 \times 0{,}83 = 7270 \text{ heures par an,}$$

en admettant, toutefois, que l'on puisse écouler toute l'énergie électrique produite.

Avec ces données, nous avons calculé, comme on le voit sur la figure 13, les puissances ainsi que les utilisations des lignes et des postes nécessaires pour desservir la France. Les étiages dans les diverses régions ne coïncidant pas, il se produirait une compensation partielle, d'où réduction de la production thermique d'appoint et amélioration de l'utilisation des lignes. Nous n'en avons pas tenu compte pour simplifier les calculs.

La moyenne des utilisations est de 5 500 heures par an pour les postes (par kilowatt installé) et 6 000 heures par an pour les lignes (par kilowatt et par kilomètre).

La puissance dépasse beaucoup 400 000 kw pour plusieurs artères d'une longueur inférieure à 1 000 km. Partout où cela est possible, la transmission, pour plus d'économie, est assurée par une seule ligne. Seule la liaison entre Aurillac et Paris est multiple. La grande puissance à transmettre exige quatre lignes susceptibles chacune de 800 000 kw.

L'insertion d'un ou de plusieurs postes permettrait de réduire le nombre des artères, mais l'économie qui en résulterait serait détruite par les dépenses de transformateurs et de compensateurs synchrones supplémentaires.

Dans le système étudié, la production thermique n'excéderait pas, annuellement, $2{,}5 \times 10^9$ kw-h qui nécessiteraient 2×10^6 t de charbon. D'ailleurs, avec les

lignes proposées, on exporterait quelque 18×10^9 kilovatts-heures par an, en échange desquels on obtiendrait aisément les $2{,}5 \times 10^9$ kw-h d'origine thermique dont on aurait besoin.

Dans ce qui précède, nous avons supposé que les usines génératrices étaient installées au fil de l'eau. C'est ce qui explique les excédents considérables dont nous avons parlé. De nombreux barrages, capables d'accumuler le débit des rivières pendant les 16 heures de faible charge, permettraient de transformer la presque totalité de l'énergie de nuit en énergie de jour et d'augmenter considérablement la puissance distribuée.

TABLEAU V. — *Récapitulation.*

Puissance hydraulique aménageable en France (correspondant au débit semi-permanent)	7,5 millions de kilowatts
Production annuelle possible	50 milliards de kilowatts-heures
Production thermique d'appoint	3 milliards de kilowatts-heures
Prix du kilowatt-heure, aux bornes des usines hydrauliques	0,074 fr
Prix moyen du kilowatt-heure, rendu sur place et distribué à la tension de 150 000 v	0,14 fr
Capitaux à engager dans :	
Les usines hydrauliques	30 milliards de francs
Les usines thermiques d'appoint	5 id
Les lignes à 400 000 v (3 000 km environ) et les postes	6 id
Les lignes à 150 000 v	3 id
Les réseaux de distribution	8 id
Total des capitaux pour l'aménagement intégral des chutes d'eau et leur utilisation	52 milliards de francs

B. **Application à l'Europe.** — Avant d'aborder ce problème, faisons les inventaires des ressources hydrauliques, des bassins houillers et des principaux centres de consommation de l'Europe. Nous avons éliminé la Russie, car les données sur le développement industriel de ce pays sont encore trop incertaines pour qu'on puisse en tenir compte dans une telle étude.

1. RESSOURCES HYDRAULIQUES. — D'après les chiffres donnés par les documents les plus vraisemblables, nous indiquons sur le tableau VI, les puissances qu'on pourrait obtenir en aménageant les chutes d'eau dans les différents pays d'Europe.

2. BASSINS HOUILLERS. — Nous n'indiquerons que les plus importants, qui sont : 1° Les bassins du nord de la France, de la Belgique (Namur) et d'Aix-la-Chapelle ; 2° Le bassin de la Sarre ; 3° Le bassin de la Rhur ; 4° Le bassin de la Haute-Silésie ; 5° Le bassin de la Bohême ; 6° Les bassins de l'Angleterre.

3. CENTRES DE CONSOMMATION. — Les pays dépourvus de chutes d'eau et susceptibles d'absorber des excédents d'énergie hydraulique sont :

L'Allemagne, l'Angleterre, la Belgique et la Hollande, le nord et le nord est de la France.

D'autres Etats : l'Italie, la Suisse, l'Autriche, la France, importent à grands frais le charbon nécessaire à leurs industries et pourraient aussi utiliser des excédents d'énergie thermique en abondance.

4. RÉSEAU NÉCESSAIRE. — Sur la figure 14 nous avons représenté ce qu'on pourrait réaliser.

La Prusse orientale, la Pologne seraient desservies par les chutes d'eau des Carpathes et le bassin houiller de la Haute-Silésie. Une ligne, dirigée vers les pays balkaniques, assurerait au passage la liaison du bassin de Bohême et de Vienne avec le réseau général. Les

TABLEAU VI. — *Ressources hydrauliques en Europe* (1).

PAYS PRODUCTEURS	PUISSANCE kilowatts
Russie	33 000 000
Norvège	9 000 000
Suède	7 000 000
France (2)	6 000 000
Espagne	5 000 000
Italie	4 000 000
Autriche	3 000 000
Suisse	3 000 000
Pologne	2 000 000
Finlande	1 300 000
Allemagne	1 300 000
Yougoslavie	1 300 000
Tchécoslovaquie	1 000 000
Roumanie	800 000
Angleterre	400 000
Esthonie	100 000
Hongrie	100 000
Danemark	0
Belgique	0
Hollande	0

(1) Les chiffres du tableau correspondent à des évaluations extrêmement prudentes. Ils sont certainement inférieurs à la réalité.

(2) Le chiffre officiel est, à l'heure actuelle, de 7 500 000 kw.

lignes polonaises seraient, sans doute, prolongées vers la Russie. On peut traverser le détroit du Sund avec des lignes aériennes, en utilisant les nombreux îlots qui le parsèment.

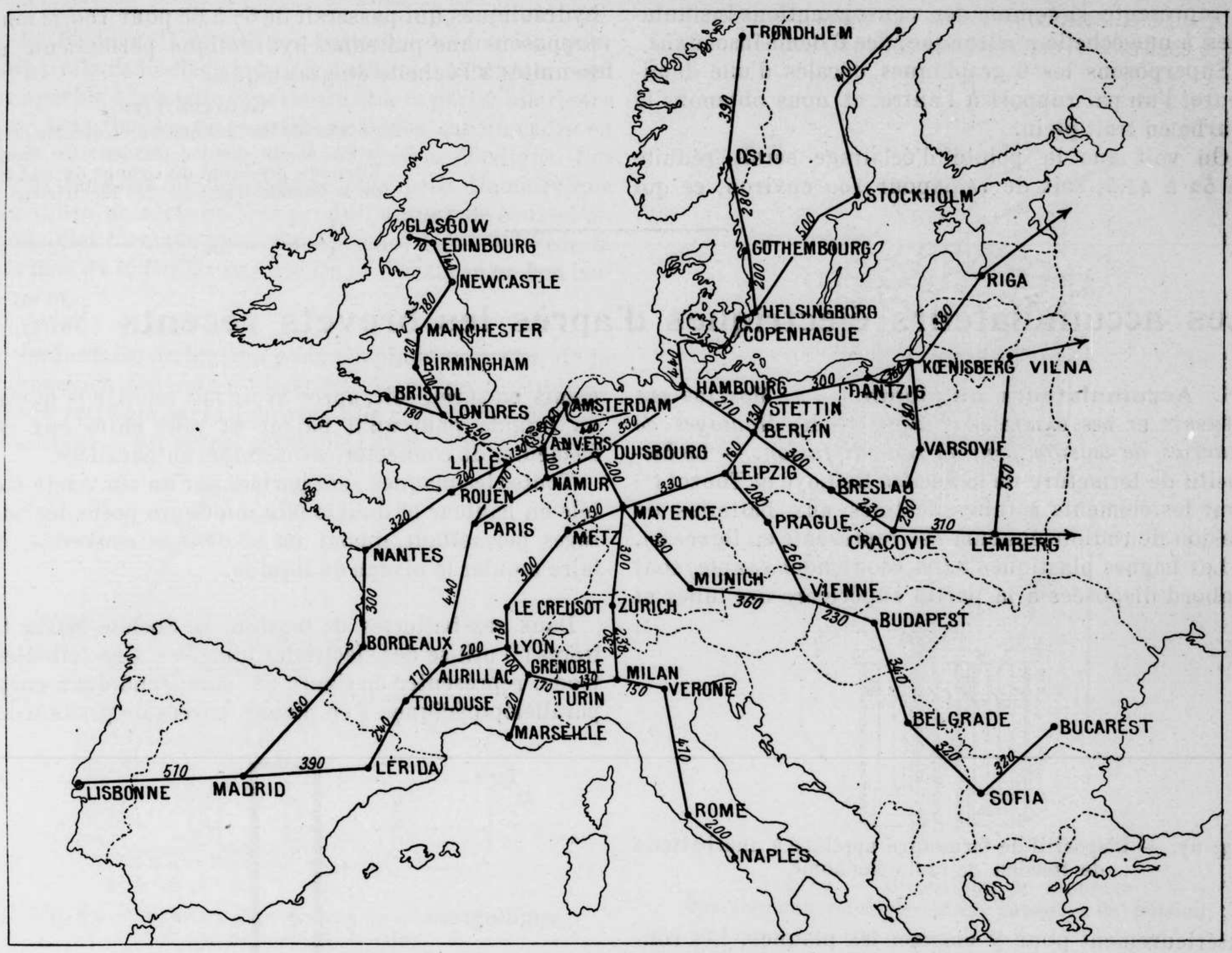


Fig. 14. — Carte d'un projet de réseau européen de transmission d'énergie à 400 000 v.

Quant à l'Angleterre, les puissances à transmettre pouvant atteindre plusieurs millions de kilowatts, il faudrait recourir à un tunnel. Il suffirait de donner à ce dernier un diamètre de 4 m (1). Les péages seraient approximativement pour un million de kilowatts : 2.5 centimes par kilowatt-heure pour 3 000 heures d'utilisation ; 1 centime par kilowatt-heure pour 8 000 heures d'utilisation ; ils seraient pour 5 millions de kilowatts : 0,5 centime par kilowatt-heure pour 3 000 heures d'utilisation ; 0,2 centime par kilowatt-heure pour 8 000 heures d'utilisation.

C. Influence de la longitude sur la courbe des puissances instantanées. — Le réseau de distribution considéré, s'il intéressait un peu la Russie, serait délimité par deux longitudes distantes de 3 heures.

(1) C'est une méthode de calcul simple et élégante trouvée par M. Bichet, ingénieur à la Compagnie électrique de la Loire et du Centre, au cours d'une étude sur l'effet de couronne, qui a servi à la détermination des dimensions à donner à ce tunnel.

Divisons les 3 heures que le soleil mettrait à parcourir

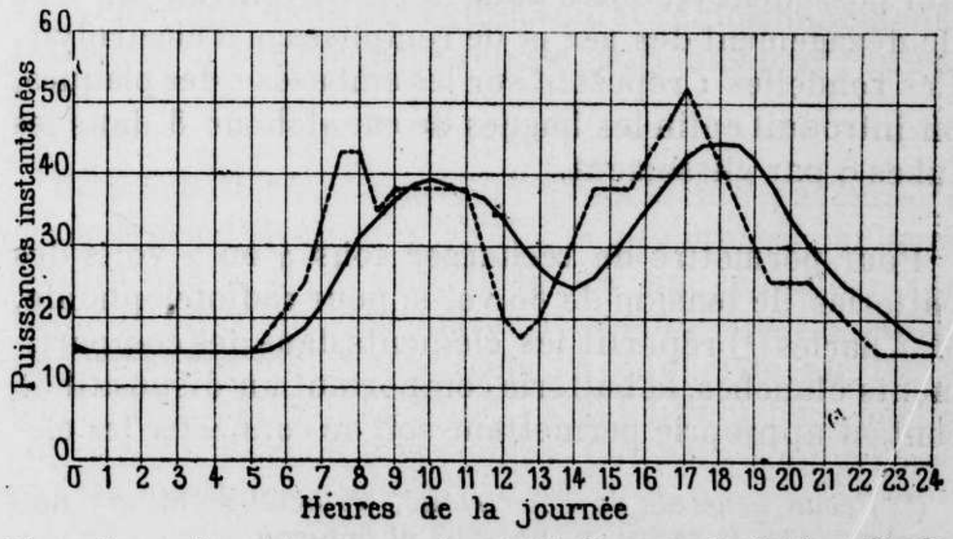


Fig. 15. — Graphique montrant l'influence de la longitude sur la courbe des puissances instantanées dans le sens d'une amélioration du facteur de charge : courbe en trait plein, puissance instantanée en tenant compte du décalage horaire ; courbe en traits discontinus, puissance instantanée sans tenir compte du décalage horaire.

le réseau en 6 demi-fuseaux horaires ; supposons, en

tenant compte du décalage des heures, que la puissance consommée soit la même dans chaque demi-fuseau et que la courbe en trait ponctué du graphique de la figure 15 représente la somme des consommations instantanées, à une échelle quelconque, des 6 demi-fuseaux.

Superposons les 6 graphiques décalés d'une demi-heure, l'un par rapport à l'autre, et nous obtenons la courbe en trait plein.

On voit que la pointe d'éclairage serait réduite de 52 à 44,5, soit de 14,5 pour 100 environ, ce qui économiserait une puissance installée en usines thermiques de 7 millions de kilowatts, représentant 9×10^3 fr, et augmenterait l'utilisation des usines hydrauliques, qui passerait de 67 à 68 pour 100, si nous supposons une puissance hydraulique permanente de 40 unités à l'échelle du graphique.

Georges VIEL.
Directeur de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre (Secteur de Saint-Etienne), président du Groupe du Sud-Est de la Société française des Électriciens.

Les accumulateurs électriques d'après les brevets récents (*Suite*) (*)

I. **Accumulateurs au plomb**. — 4. MONTAGE DES ÉLÉMENTS ET DES BATTERIES (*Suite*). — h) *Montages de batteries de tension pour la radiodiffusion*. — Le dispositif de fermeture de la Société De Loye et Touzot (1) pour les éléments à tubes destinés aux batteries de tension de radiotéléphonie est représenté en figure 67.

Les bagues plastiques 8 (en caoutchouc souple) sont d'abord disposées à la partie supérieure des tubes et

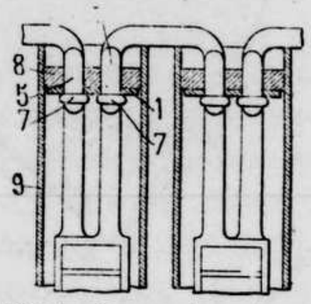


Fig. 67. — Dispositif de fermeture appliqué à une batterie de tension de radiotéléphonie.

extérieurement pour y engager les plaques. Les rondelles 1, en ébonite, sont alors placées dans les tubes 9 de façon que les talons 4 et 5 des plaques s'engagent dans deux échancrures correspondantes des rondelles 1 qui possèdent en outre dans la partie centrale un trou de dégagement des gaz et de remplissage d'électrolyte. Ces rondelles 1 reposant sur les embases 7 des plaques, on introduit enfin les bagues de caoutchouc 8 dans les tubes 9 par glissement.

Pour permettre de recharger sous 4 ou 2 volts des batteries de tension de 80 volts, pour radiotéléphonie, M. Charles (2) répartit les éléments dans des compartiments étanches, la batterie comportant un dispositif de contact approprié permettant soit de connecter les éléments en série, soit, après avoir fait monter le niveau du liquide pour qu'il baigne et relie entre eux ces éléments, de connecter ces derniers en parallèle.

Toutes les plaques sont portées par un couvercle mobile en hauteur et dont la face inférieure porte des bossages permettant, quand on abaisse le couvercle, de faire monter le niveau du liquide.

Dans ses batteries de tension, la Société Malherbe frères (1) utilise des électrodes jumelées. Une telle électrode, représentée en figure 68, comprend deux corps parallélépipédiques 2 en plomb, percés de petits trous

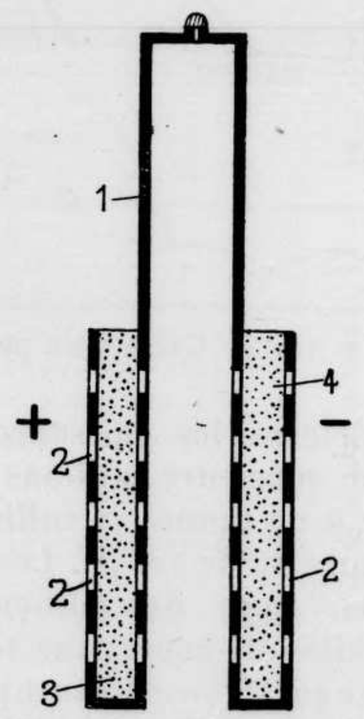


Fig. 68. — Coupe schématique d'une électrode jumelée de batterie de tension.

et reliés par le conducteur en plomb 1. Dans l'un de ces corps, devant constituer l'électrode positive d'un élément, on introduit du minium en poudre 3 ; dans l'autre qui formera l'électrode négative de l'élément voisin on met de la litharge en poudre 4. Ces électrodes, trempées dans une solution étendue d'acide sulfurique, puis séchées, sont ensuite montées dans les bacs avec interpo-

(*) *Revue générale de l'électricité*, 25 octobre et 1er novembre 1930, t. XXVIII, p. 651-663 et 696-709.

(1) Dispositif perfectionné de fermeture des éléments de batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 618 921*, demandé le 13 juillet 1926, délivré le 23 décembre 1926, publié le 23 mars 1927, 163 lignes, 4 figures.

(2) Système de batterie d'accumulateurs à voltage variable. *Brevet français n° 630 372*, demandé le 1er décembre 1926, délivré le 20 août 1927, publié le 1er décembre 1927, 137 lignes, 6 figures.

(1) Perfectionnement aux accumulateurs électriques et à leur mode de fabrication. *Brevet français n° 629 751*, demandé le 24 février 1927, délivré le 2 août 1927, publié le 17 novembre 1927, 101 lignes, 5 figures.

sition d'un séparateur entre les deux électrodes d'un même bac.

L. Barbier (1) monte les batteries de tension pour appareils radioélectriques à l'aide de tubes qui sont supportés à la partie supérieure et à la partie inférieure par deux feuilles de caoutchouc fixées sur un cadre en bois. On obtient ainsi une suspension élastique. Les trous dans ces feuilles sont de plus petit diamètre que les tubes, de sorte qu'il se produit autour de ceux-ci un bourrelet formant joint. Ceci permet de laver à l'eau la surface de la feuille supérieure et d'assurer un bon isolement.

La batterie de tension pour téléphonie sans fil, de la Compagnie générale d'Electricité (2), est représentée en coupe verticale par la figure 69. Elle comprend ici 4 bacs multiples 1, en verre, assemblés avec intercalation de

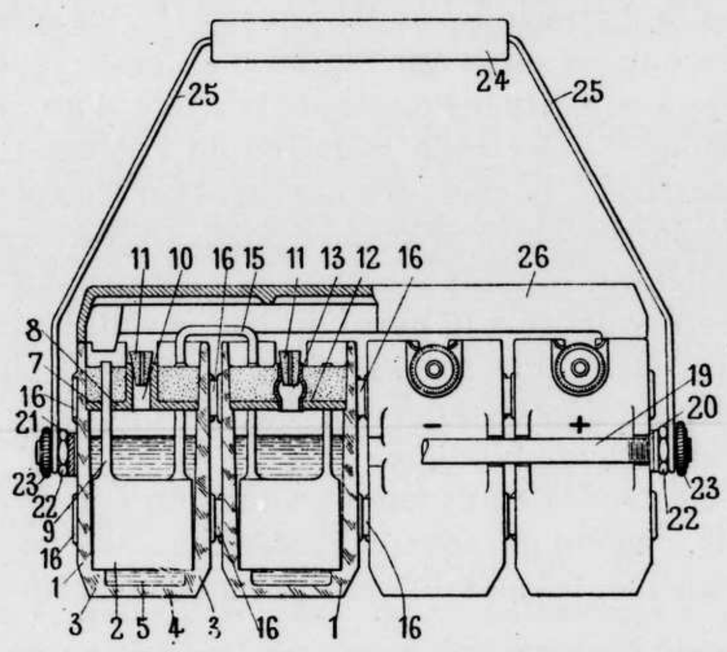


Fig. 69. — Schéma d'un groupe de 4 bacs multiples, d'une batterie de tension.

pastilles isolantes 16. L'assemblage est assuré par un cadre dont les montants 19 passent dans des bossages des bacs multiples et sont serrés par des rondelles 20 et des écrous 22. Des écrous 23 serrent en outre les brins métalliques, 25, d'une poignée amovible 24.

Chaque bac multiple est divisé en compartiments par des cloisons de verre venues de fonte avec le bac. Dans chaque compartiment on loge en 2 une plaque positive et une plaque négative, isolées entre elles par des nervures de verre venues de fonte également. Les bornes extrêmes sont des pièces encastrées et serrées sur la paroi même du bac à compartiments multiples.

La figure 70 représente le mode de montage utilisé par la Société Accumulateur Farad (1) pour les batteries de tension des appareils radioélectriques. Les plaques 1 sont contenues dans les tubes de verre 2 évasés à leur

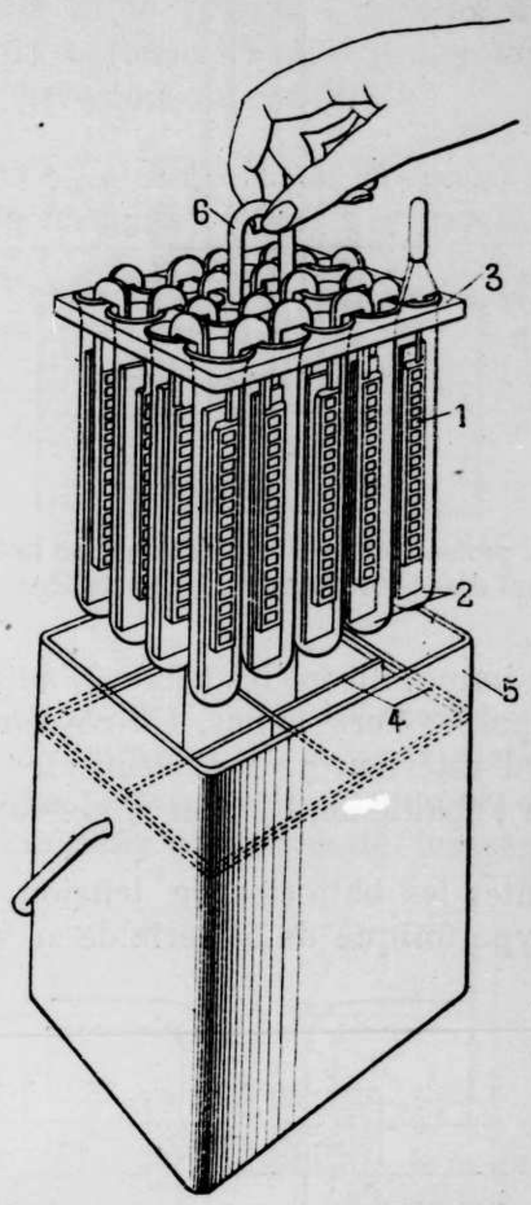


Fig. 70. — Disposition de montage des éléments multiples d'une batteries de tension.

partie supérieure. En soulevant par l'anneau 6 l'entretoise en ébonite 3 tous les tubes de verre reposent par leur bord supérieur sur l'entretoise. Les éléments 2 sont enfermés dans un coffret 5 muni de cloisonnements intérieurs 4 sur lesquels repose normalement l'entretoise.

Dans la batterie J. Bouteille (2) représentée en figure 71 les groupes d'électrodes, 2, 3, 4, 5 assemblées par leurs connexions 6 et 7, sont fixés sur une tablette 1 sur laquelle on coule une matière isolante inattaquable. Les bacs sans fond 8 sont scellés à leur partie inférieure dans cette matière. Le tube 10 qui forme leur partie supérieure les rend inversables. Ces bacs sont fermés par les bouchons percés 11.

La figure 72 représente en coupe un élément de la

(1) Dispositif de support des éléments pour batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 630 913*, demandé le 7 mars 1927, délivré le 3 septembre 1927, publié le 12 décembre 1927, 78 lignes, 2 figures.

(2) Perfectionnements à la construction des batteries de tension pour téléphonie sans fil et tous autres usages. *Brevet français n° 646 455*, demandé le 17 mai 1927, délivré le 16 juillet 1928, publié le 12 novembre 1928, 279 lignes, 3 figures.

(1) Nouvelle disposition de montage des éléments multiples des batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 634 890*, demandé le 23 mai 1927, délivré le 9 décembre 1927, publié le 1er mars 1928, 115 lignes, 1 figure.

(2) Perfectionnements aux batteries électrolytiques. *Brevet français n° 648 382*, demandé le 21 juin 1927, délivré le 13 août 1928, publié le 8 décembre 1928, 71 lignes, 3 figures.

batterie de tension A.-A. Touzot (1). Les tubes de verre cylindriques 1 sont suspendus par leur col 2 dans les alvéoles d'un plateau-support 4. Des rondelles 6 en

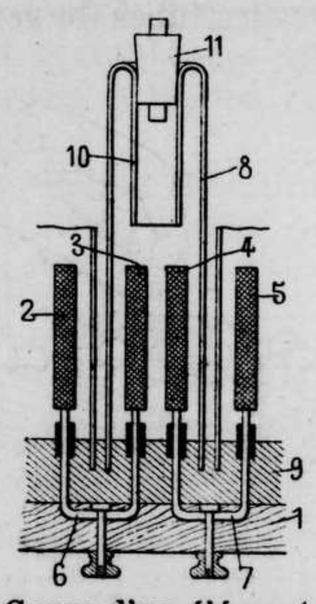


Fig. 71. — Coupe d'un élément de batterie d'accumulateurs J. Bouteille.

caoutchouc immobilisent les tubes. D'autres rondelles 6 a sont disposées vers le bas. Un couvercle 8 repose sur le rebord intérieur 7. Les électrodes 12 sont suspendues par l'épaulement 13 sur ce couvercle.

Pour monter les batteries de tension, F. Livon (2) part d'un type unique de batterie de 20 volts. Les di-

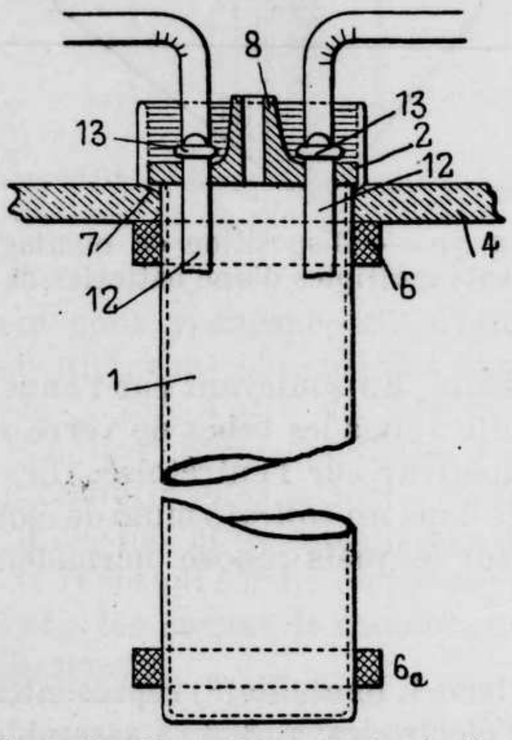


Fig. 72. — Croquis d'un élément de batterie de tension A.-A. Touzot.

vers groupes de 20 volts sont réunis en un sol bloc. A cet effet, ils portent des bossages supérieurs et inférieurs pour le passage des boulons. Ces boulons solidarisent en même temps un tasseau à la partie inférieure et une traverse formant poignée à la partie supérieure.

(1) Batterie d'accumulateurs. *Brevet français n° 636 780*, demandé le 28 juin 1927, délivré le 16 janvier 1928, publié le 16 avril 1928, 209 lignes, 7 figures.

(2) Dispositif de solidarisation permettant le groupement de plusieurs batteries d'accumulateurs électriques en un seul bloc pour téléphonie sans fil et autres applications. *Brevet français n° 657 711*, demandé le 22 mai 1928, délivré le 16 janvier 1929, publié le 27 mai 1929, 133 lignes, 6 figures.

i) *Montages divers de batteries.* — Pour le montage d'éléments (à bacs en verre par exemple) dans une caisse en bois, C. Pfalzgraf (1) prévoit des cales élastiques à la partie inférieure et des taquets élastiques en forme de coin à la partie supérieure, la disposition permettant le démontage facile des éléments.

La batterie Caillard et Marcel Heuzey (2), pour motocyclettes, comprend 3 éléments d'une capacité d'environ 13 A-h, montés dans un bac en ébonite ou en matière moulée, à 3 compartiments. Chaque élément renferme un groupe de deux plaques positives accolées et recouvertes d'un masque protecteur commun, les deux plaques négatives étant disposées de part et d'autre de cet ensemble. Le bac est fermé par un couvercle fixé par deux vis en diagonale. Il porte des nervures verticales laissant entre elles un canal pour le passage d'un boulon de fixation.

Dans la batterie L.-A.-H. Arnand (3), les électrodes sont découpées dans une feuille de plomb, repliées de manière à constituer l'électrode positive d'un élément, jumelée avec l'électrode négative de l'élément voisin. Ces électrodes, portant des nervures sur leur pourtour, sont découpées sur leur surface de manière à former des languettes qui sont toutes relevées légèrement d'un seul côté, celui opposé à la paroi du bac. Avant leur formation, les électrodes subissent un traitement chimique qui consiste à les tremper dans l'acide sulfurique chaud, puis dans l'acide nitrique.

Les électrodes étant montées dans un bac à compartiments, chacun de ceux-ci renfermant une positive et une négative, le bac est fermé par un couvercle unique.

Ignace de Marneffe (4) assure l'alimentation des postes de radiotéléphonie à l'aide d'une batterie de 41 éléments (pour une distribution à 110 volts) de même capacité : pour l'écoute, 10 de ces éléments groupés par 2 en tension et 5 en quantité fournissent le courant de chauffage des filaments, les 31 autres éléments sont branchés sur le circuit de tension anodique des lampes. En charge, tous les éléments sont en série et branchés directement sur le réseau. Un combinateur spécial permet de passer de l'écoute à la charge. Ce combinateur introduit, pendant la position écoute, une résistance aux bornes de la batterie de tension de façon que les éléments de celle-ci

(1) Boîte-support pour accumulateurs. *Brevet français n° 629 021*, demandé le 11 février 1927, délivré le 12 juillet 1927, publié le 3 novembre 1927, 124 lignes, 6 figures.

(2) Batterie d'accumulateurs pour l'éclairage des motocyclettes et autres applications. *Brevet français n° 641 933*, demandé le 16 mars 1927, délivré le 1er mai 1928, publié le 13 août 1928, 100 lignes, 3 figures.

(3) Perfectionnements aux accumulateurs à formation naturelle. *Brevet français n° 640 781*, demandé le 12 septembre 1927, délivré le 3 avril 1928, publié le 21 juillet 1928, 291 lignes, 4 figures.

(4) Bloc d'alimentation totale, par accumulateurs à charge automatique, pour appareils de télégraphie et téléphonie sans fil. *Brevet français n° 643 231*, demandé le 29 octobre 1927, délivré le 15 mai 1928, publié le 12 septembre 1928, 171 lignes, 1 figure.

débitent autant que ceux de la batterie de chauffage. En dehors de l'écoute, la batterie totale reste constamment branchée sur le réseau.

M. Huguet (1) adopte le montage représenté en coupe verticale dans la figure 73.

Le bac monobloc 1 en matière isolante porte à sa partie supérieure un rebord de renforcement 4 plus

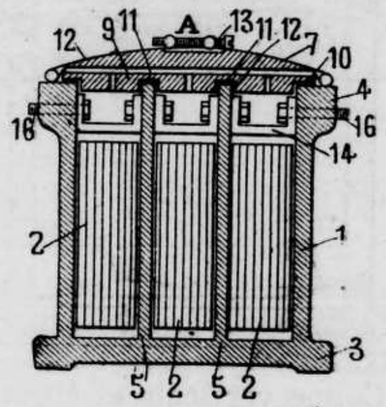


Fig. 73. — Coupe verticale d'un nouveau montage d'accumulateurs.

épais sur les deux côtés recevant les connexions. Il est muni de cloisons transversales 5 qui divisent le bac en plusieurs compartiments isolés. Ce bac est fermé par un couvercle amovible 7 possédant une partie 8 qui s'emboîte dans l'ouverture du bac et dans laquelle des rainures 9 permettent le logement des cloisons 6 avec interposition de garnitures d'étanchéité 11. D'autres garnitures 10 sont prévues entre les rebords du bac 1 et le couvercle 7. Ce couvercle est maintenu en position par une sangle 12 en deux parties. Les extrémités opposées de ces sangles sont assujetties sur le rebord du bac 1, alors que leurs autres extrémités sont réunies à un système de liaison et de tension à vis 13.

Les connexions d'élément à élément ou avec le circuit extérieur se font à l'aide des ponts métalliques 14 en forme de U réunis aux plaques 2 et assemblés au moyen des boulons 15 traversant les cloisons et 16 traversant les parois externes du bac. Le couvercle peut en outre comporter un bouchon permettant de compenser les pertes d'électrolyte et de donner issue aux gaz dégagés, des conduits ménagés dans l'épaisseur du couvercle reliant ce bouchon aux divers compartiments.

Dans la lampe de mine R. Hubert et A. Gillieaux (2), l'accumulateur forme bloc avec la partie inférieure de la lampe. Il comporte trois plaques, dont deux négatives et une positive. La plaque positive possède deux bornes de contact.

Pour éviter tout risque de contact avec les éléments lors de la charge d'une batterie portative sur un réseau à tension relativement élevée, la Compagnie générale d'Electricité (1) monte la batterie dans une caisse dont le couvercle porte un interrupteur placé entre les pôles de la batterie et le réseau à tension élevée. Il en résulte que la batterie est automatiquement isolée du réseau par l'ouverture du couvercle.

Les figures 74 (élévation) et 75 (plan) montrent les dispositifs de fermeture employés par la Compagnie

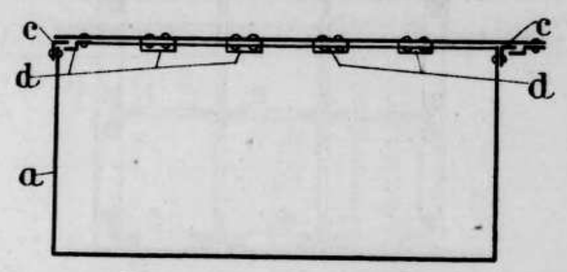


Fig. 74. — Vue en élévation des dispositifs de fermeture de couvercle pour caisses de batteries de locomotives de mines.

générale d'Electricité (2) pour les caisses des batteries de locomotives de mines. La caisse a porte les rebords c en fer cornière; ces rebords sont munis de retraits e. Sur le côté inférieur du couvercle, les verrous d sont

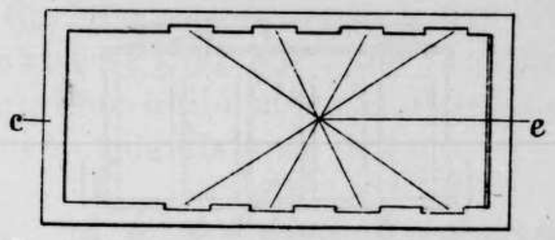


Fig. 75. — Plan des dispositifs de la figure 74.

disposés de façon à passer par les retraits e lorsque le couvercle est mis en place avec une légère déviation. En poussant le couvercle vers la gauche, tous les verrous glissent sous les rebords c.

La Compagnie générale d'Electricité (3) effectue le montage en caisse des éléments transportables, ainsi qu'il est représenté en figure 76. Les éléments a montés dans la caisse b sont séparés entre eux par des croisillons c en ébonite. Entre les éléments et la caisse, la séparation se fait par des pièces en ébonite d en forme de T. Enfin dans les angles, ces pièces e sont en V avec des saillies extérieures f.

On obtient ainsi un montage peu encombrant et on facilite le refroidissement des éléments par l'air.

Dans les caisses d'éléments utilisées pour les loco-

(1) Perfectionnements apportés dans l'établissement des accumulateurs, piles électriques, transportables et stationnaires. *Brevet français n° 643 233*, demandé le 29 octobre 1927, délivré le 15 mai 1928, publié le 12 septembre 1928, 140 lignes, 3 figures.

(2) Lampe de mine électrique à accumulateur. *Brevet français n° 645 629*, demandé le 13 décembre 1927, délivré le 3 juillet 1928, publié le 29 octobre 1928, 196 lignes, 1 figure.

(1) Dispositif de sécurité pour le branchement des accumulateurs électriques portatifs. *Brevet français n° 648 258*, demandé le 15 décembre 1927, délivré le 13 août 1928, publié le 7 décembre 1928, 227 lignes, 4 figures.

(2) Fermeture de couvercle pour caisses de batteries d'accumulateurs électriques. *Brevet français n° 658 777*, demandé le 21 juin 1928, délivré le 28 janvier 1929, publié le 19 juin 1929, 60 lignes, 3 figures.

(3) Dispositif pour le montage d'éléments d'accumulateurs électriques dans des caisses. *Brevet français n° 659 335*, demandé le 6 juillet 1928, délivré le 4 février 1929, publié le 27 juin 1929, 51 lignes, 1 figure.

motives électriques à accumulateurs, il arrive que les éléments du milieu chauffent exagérément. Pour éviter cet inconvénient, la Compagnie générale d'Electri-

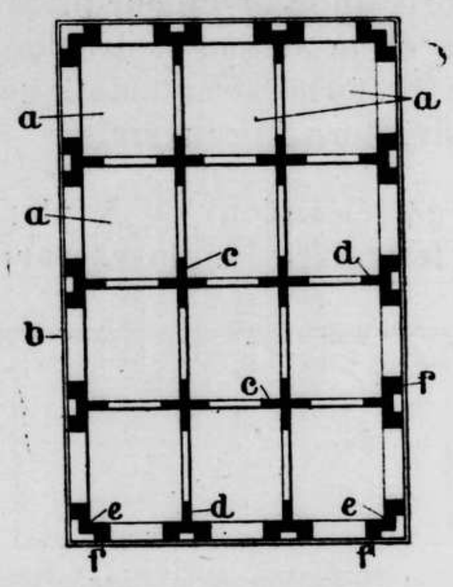


Fig. 76. — Plan d'un dispositif de montage d'éléments d'accumulateurs dans les caisses.

cité (1) ménage dans la batterie un ou plusieurs espaces vides ayant les dimensions d'un élément.

Les figures 77 et 78 montrent en élévation et en plan une disposition employée. Les éléments c sont placés

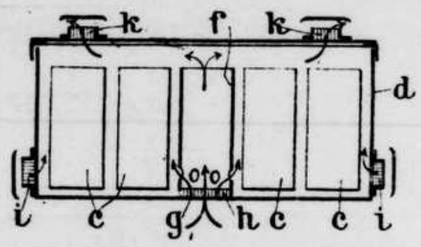


Fig. 77. — Coupe verticale d'un dispositif de montage des accumulateurs dans les caisses.

dans la caisse d munie du couvercle e. Un corps prismatique f à parois métalliques minces est fixé dans le fond de la caisse. Sa partie inférieure est fermée par

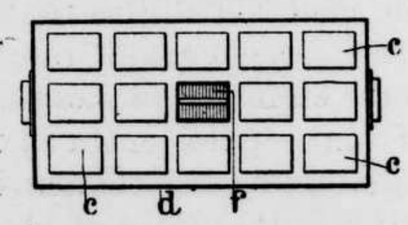


Fig. 78. — Plan d'un dispositif de montage des accumulateurs dans les caisses.

un dispositif antigrisouteux g (cas des locomotives de mines). Dans les parois latérales, près du fond, se trouvent les ouvertures h. En outre, dans les parois latérales de la caisse et dans le couvercle, on a pratiqué des ouvertures i et k munies aussi d'un dispositif antigrisouteux. L'air de refroidissement suit le chemin indiqué par les flèches.

Les figures 79 et 80 représentent en élévation et en coupes verticales suivant deux plans perpendiculaires, les dispositifs de montage de la batterie C.-H. Everett et G.-R. Carr (1) conçue en vue d'obtenir des joints bien étanches et un démontage facile.

A la partie supérieure, les parois 11 du bac portent

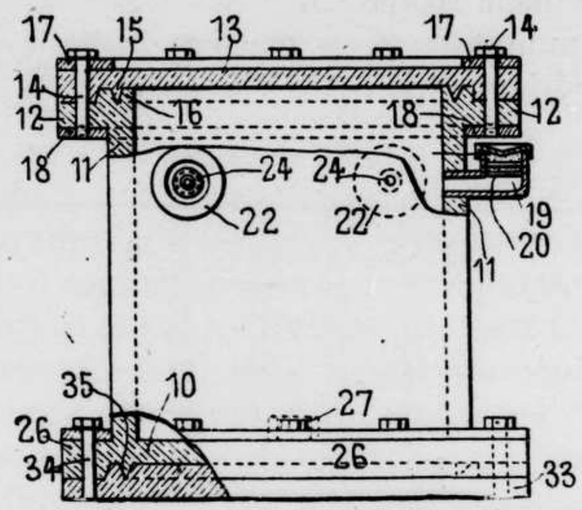


Fig. 79. — Coupe verticale et élévation partielle d'un nouveau dispositif de montage.

les brides 12 qui reçoivent les boulons 14 de fixation du couvercle 13. Le couvercle et le bac sont munis de nervures et rainures complémentaires 15 et 16 s'éten-

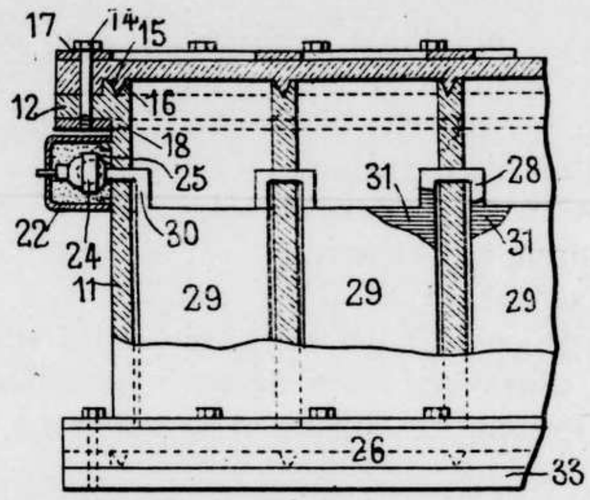


Fig. 80. — Coupe verticale perpendiculaire à la coupe représentée en figure 79.

dant sur les quatre côtés de façon à assurer un joint étanche. Les boulons sont en alliage de plomb ainsi que les plaquettes 17 et 18. L'échappement des gaz d'un compartiment se fait par l'auget latéral 19 portant des plaques perforées 20 et une garniture de fibre divisée en plusieurs couches. Un couvercle perforé 21 permet le dégagement des gaz.

Les connexions extrêmes comprennent un auget 22 vissé sur la paroi du bac. La connexion en forme de boule 24 est entourée d'une garniture inattaquable à l'acide 25, remplissant complètement l'auget. Les connexions intermédiaires 28 sont moulées dans les cloisons du bac.

II. **Accumulateurs alcalins fer ou cadmium, potasse, sesquioxyde de nickel.** — 1. CONSTITUTION DES ÉLECTRODES. — Les figures 81 (phase intermédiaire) et 82 (phase finale) représentent une des formes d'exé-

(1) Montage d'accumulateurs électriques dans les caisses. *Brevet français n° 659 262*, demandé le 13 juillet 1928, délivré le 4 février 1929, publié le 26 juin 1929, 124 lignes, 3 figures.

(1) Bac de batterie d'accumulateur. *Brevet français n° 658 670*, demandé le 7 août 1928, délivré le 26 janvier 1929, publié le 7 juin 1929, 272 lignes, 4 figures.

cution du procédé de la Compagnie générale d'Electricité (1) pour la fabrication des électrodes de l'accumulateur alcalin. Deux longues bandes de tôle finement perforées de longueur illimitée sont munies de façon connue de plis transversaux d et e qui s'étendent sur toute leur largeur et qui possèdent une section transversale en forme de crochet. Les plis d de l'une des tôles sont dirigés vers le bas et les plis e de l'autre, vers le haut. Les deux bandes sont ensuite glissées latéralement l'une dans l'autre (fig. 81). Enfin, les plis d et e sont comprimés et étroitement serrés les

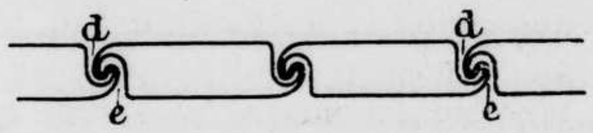


Fig. 81. — Croquis montrant une phase de la fabrication des électrodes pour accumulateurs à électrolyte alcalin.

uns contre les autres à l'aide de galets. On obtient ainsi des poches ouvertes des deux côtés (fig. 82) dont les côtés sont en parfait contact.

On introduit la matière active préalablement com-

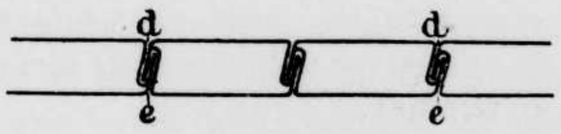


Fig. 82. — Croquis de la phase succédant à celle représentée en figure 81.

primée en bloc. On coupe ensuite le nombre de poches correspondant à la hauteur de l'électrode et on munit celle-ci de bords latéraux profilés en U ainsi que de bornes.

Pour réunir les électrodes unitaires d'une plaque d'accumulateur à électrolyte alcalin, la Compagnie générale d'Electricité (2) emploie des barres collectrices dont une forme d'exécution est représentée en coupe horizontale par la figure 83. Ces barres sont

Fig. 83. — Coupe horizontale d'une barre collectrice pour la connexion des plaques en plusieurs pièces d'électrodes d'accumulateurs à électrolyte alcalin.

obtenues à l'aide d'un tube laminé. Elles présentent une résistance mécanique plus grande que les barres en double T ou en U ordinairement obtenues par gaufrage d'une bande de tôle.

(1) Electrodes pour accumulateurs à électrolyte alcalin et leur fabrication. *Brevet français n° 629 348*, demandé le 8 février 1927, délivré le 25 juillet 1927, publié le 8 novembre 1927, 146 lignes, 4 figures.

(2) Barres collectrices profilées en double T, en U ou autres pour la connexion des plaques en plusieurs pièces d'électrodes d'accumulateurs à électrolyte alcalin. *Brevet français n° 630 125*, demandé le 3 mars 1927, délivré le 9 août 1927, publié le 23 novembre 1927, 27 lignes, 2 figures.

On sait que jusqu'ici on remplissait de matière active les électrodes tubulaires de l'accumulateur alcalin en procédant par portions dont chacune était comprimée à l'aide d'un piston, ce qui était très long.

La Compagnie générale d'Electricité (1) effectue ce remplissage par force centrifuge à l'aide de la machine représentée en coupe verticale par la figure 84.

Sur un axe a pouvant tourner à grande vitesse est fixé un disque b. A l'arrêt, les tubes à remplir sont

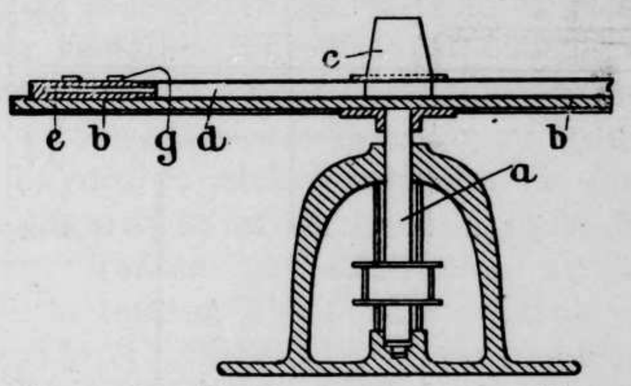


Fig. 84. — Coupe longitudinale de l'appareil pour l'introduction de la masse active dans les électrodes tubulaires des accumulateurs alcalins.

placés dans les moules e. Ces moules sont fermés et serrés à l'aide de pièces en fer g et de vis. Les moules sont reliés à l'entonnoir de remplissage c par des canaux d. En faisant tourner b à une vitesse suffisante, la masse se trouvant dans l'entonnoir est projetée et comprimée uniformément dans tous les moules, ceux-ci étant à égale distance de l'axe.

Les flocons de nickel destinés à augmenter la conductibilité de la matière active positive sont préparés ordinairement en déposant sur un mandrin cylindrique des couches successives de cuivre et de nickel. La feuille détachée est découpée en petits carrés et le cuivre est éliminé par dissolution dans un liquide n'attaquant pas le nickel.

Un procédé plus économique imaginé par la Compagnie générale d'Electricité (2) consiste à produire une polarisation anodique de la surface du nickel après dépôt de chaque couche de ce métal. Après découpage de la feuille en petits carrés, les flocons de nickel sont séparés par attaque à l'aide d'une solution d'acide sulfurique à 0,1 pour 100. Cette solution pénètre dans les espaces capillaires entre les couches en y provoquant un dégagement d'hydrogène qui écarte les flocons.

Ce dernier procédé pouvant donner lieu, pendant la polarisation anodique, à une redissolution, par les anions SO^4, du nickel ou de son oxyde préalablement

(1) Procédé et appareil pour l'introduction de la masse active dans les électrodes tubulaires des accumulateurs alcalins. *Brevet français n° 634 882*, demandé le 23 mai 1927, délivré le 9 décembre 1927, publié le 1er mars 1928, 92 lignes, 2 figures.

(2) Procédé pour la préparation de flocons de nickel servant de matière d'addition à la masse des accumulateurs alcalins. *Brevet français n° 638 013*, demandé le 5 juillet 1927, délivré le 13 février 1928, publié le 14 mai 1928, 49 lignes.

formé, la Compagnie générale d'Electricité (1) produit l'état passif de chaque couche de nickel par l'action d'acide nitrique concentré ou d'une solution d'acide

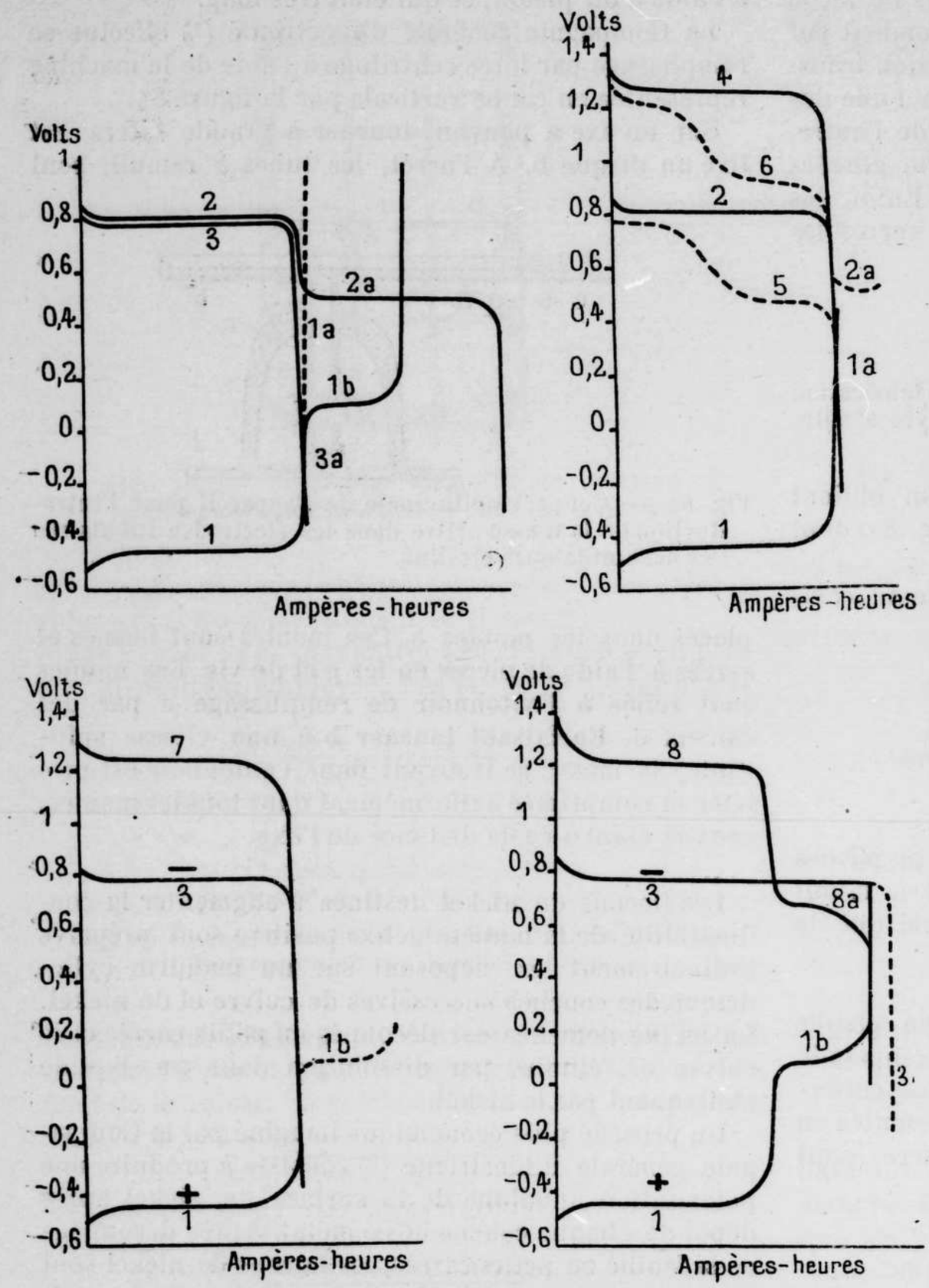


Fig. 85, 86, 87, 88. — Diagrammes comparatifs pour différentes électrodes d'un nouvel accumulateur alcalin.

chromique, après lavage préalable des couches de nickel. On peut aussi produire une polarisation anodique dans une solution à 5 pour 100 de soude. La séparation des flocons de nickel s'effectue comme dans le cas précédent.

Pour préparer la poudre de fer constituant la matière active négative de l'accumulateur fer-nickel, la Société I.-G. Farbenindustrie Aktien-Gesellschaft (1) décompose du fer carbonyle dans une cavité chauffée. La poudre de fer, ainsi obtenue, qui n'est pas pyrophorique, est très fine et d'une grande pureté. Elle peut être utilisée directement dans les pochettes des électrodes. Si l'on veut obtenir un grain plus gros ou une élimination plus complète du carbone, on fait passer lentement cette poudre dans un tube chauffé à 500°C et traversé par un courant d'hydrogène.

Les flocons de nickel qui servent à augmenter la conductibilité de la matière active positive sont préparés de la même manière en faisant passer de la vapeur de nickel carbonyle dans un tube de porcelaine large et légèrement incliné, qui peut tourner autour de son axe longitudinal et qui est chauffé à 200°C. La paroi du tube se recouvre d'une pellicule uniforme de nickel. Dès que celle-ci a une épaisseur suffisante, on met le tube en rotation. Sous l'effet de corps de remplissage à arêtes vives que renferme le tube, le nickel se détache sous forme de fines particules.

Dans le but d'obtenir des plaques d'accumulateurs, E. Drouilly (2) part des poudres métalliques que l'on obtient actuellement à un très grand degré de finesse. Il fait un mélange intime de cette poudre avec du graphite finement pulvérisé. Le mélange est aggloméré avec du brai. La pâte, moulée par compression en plaques aux formes voulues, est ensuite cuite au four. On peut augmenter la porosité en ajoutant à la pâte des produits susceptibles de se volatiliser aux températures de cuisson.

Pour l'électrode de nickel de l'accumulateur alcalin, par exemple, on ajoute à la pâte graphite-brai-nickel du bicarbonate de sodium.

La Société des Accumulateurs fixes et de Traction (3) utilise le couple cadmium, potasse, sexquioxyde de nickel en associant l'électrode positive à oxyde de nickel et flocons de nickel à l'électrode négative au cadmium. La première est constituée de tubes d'acier nickelé perforé, sertis dans un cadre en acier

(1) Procédé pour la production électrolytique de minces couches superposées de nickel et pour la séparation de celles-ci entre elles. *Brevet français n° 640 601*, demandé le 5 juillet 1927, délivré le 2 avril 1928, publié le 18 juillet 1928, 89 lignes.

(1) Electrodes pour accumulateurs Edison. *Brevet français n° 644 966*, demandé le 1er décembre 1927, délivré le 25 juin 1928, publié le 17 octobre 1928, 81 lignes.

(2) Accumulateur électrique. *Brevet français n° 659 490*, demandé le 17 décembre 1927, délivré le 5 février 1929, publié le 28 juin 1929, 141 lignes.

(3) Nouvel accumulateur alcalin. *Brevet français n° 656 079*, demandé le 18 juin 1928, délivré le 24 décembre 1928, publié le 26 avril 1929, 375 lignes, 5 figures.

nickelé. Dans chaque tube on a tassé des couches égales alternées d'oxyde de nickel et de flocons de nickel. L'électrode négative est à pochettes remplies d'hydroxyde de cadmium finement broyé mélangé ou non avec un peu d'oxyde de fer. L'électrolyte est une solution de potasse, de poids spécifique 1,18, additionnée de lithine.

Les réactions chimiques réversibles sont, comme on sait, les suivantes :

$$Cd + Ni^2 (OH)^6 \rightleftharpoons Cd (OH)^2 + 2 Ni (OH)^2$$

à lire de gauche à droite en décharge et de droite à gauche en charge.

Les avantages de la combinaison de ces deux types d'électrodes résultent de l'examen des figures 85 à 89 qui donnent, en fonction du temps de décharge, la variation de tension anodique, cathodique ou aux bornes.

Dans la figure 85 la courbe 1 est relative à la positive au sesquioxyde de nickel. Lorsque celui-ci est mélangé de flocons de nickel, la tension croît très rapidement à la fin (courbe 1 a). Quand il est mélangé de graphite, un deuxième palier se produit (1 b) avant la montée rapide. Mais, tandis que, dans le premier cas, la durée de l'électrode positive n'est pas affectée lorsque les décharges sont poussées jusqu'à la tension + 1 v, la durée de la matière active positive à base de graphite est déjà compromise par quelques décharges poussées jusque + 0,2 v et l'est davantage encore en allant jusque + 1 v.

La courbe 2-2 a de la figure 85 se rapporte à l'électrode négative à base de fer en poudre très fine mélangée avec de l'oxyde de mercure. Le premier palier 2 correspond à l'oxydation de Fe en Fe O et le palier 2 a, à l'oxydation en $Fe^2 O^3$.

Dans le fonctionnement normal de l'accumulateur fer-nickel, le palier 2 a n'apparaît pas. Il s'observe cependant dans les cas suivants :

a) Lors d'une décharge après repos prolongé (le fer s'étant déjà oxydé en Fe O pendant le repos);

b) Lors d'une décharge à très forte intensité de courant (la vitesse de la réaction chimique demandée étant telle que Fe O et $Fe^2 O^3$ se forment simultanément);

c) Pendant une décharge après charge donnée à une intensité de courant inférieure à l'intensité normale de charge. La charge normale se fait en sept ou même cinq heures avec un courant relativement élevé provoquant le dégagement d'hydrogène pendant presque toute la charge. Avec un courant plus faible, la réduction de Fe O et surtout de $Fe^2 O^3$ ne se fait pas complètement;

d) Lorsque la décharge a lieu à une température inférieure à 0°C (le fer se transformant alors directement en $Fe^2 O^3$).

La courbe 3 de la figure 85 est relative à l'électrode négative au cadmium; elle se termine par une chute rapide en 3 a. Même après un repos de plusieurs mois on retrouve la courbe de décharge normale. La charge peut se faire aussi bien à faible qu'à forte intensité de courant. Les basses températures n'influent pas sur la courbe de décharge. Cependant les qualités électriques et surtout la durée de l'électrode négative au cadmium sont compromises par une décharge poussée jusqu'à une tension inférieure à + 0,5 v.

La courbe 4 de la figure 86 montre la tension aux bornes de l'élément à électrodes négatives au fer (courbe 2) et positives à oxyde de nickel et flocons de nickel (courbe 1). Cette tension tombe brusquement à zéro. On a dans ce cas tous les inconvénients ci-dessus indiqués pour la négative au fer. Par exemple, après repos de six semaines, on obtient la courbe 5 pour la tension cathodique et 6 pour la tension aux bornes.

Si l'on combine l'électrode négative au cadmium à la positive à oxyde de nickel-graphite, on obtient les courbes des figures 87 et 88. Dans la figure 87, la décharge étant limitée par l'électrode au cadmium (courbe 3), la tension aux bornes (courbe 7) tombe brusquement à zéro. Si l'électrode positive n'en souffre pas, il n'en est pas de même de la négative. Dans la figure 88, la capacité est limitée par l'électrode positive. La courbe de tension 8 montre deux paliers. La négative au cadmium est bien protégée lorsqu'on décharge jusqu'à zéro; mais non la positive qui souffre de l'utilisation de son deuxième palier.

En combinant, ainsi qu'il est représenté en figure 89, l'électrode négative au cadmium (courbe 3) à la positive

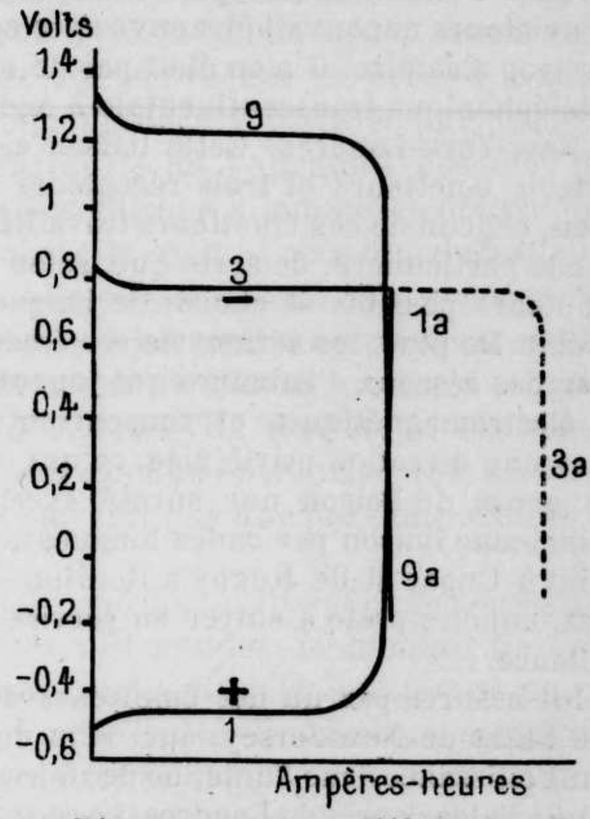


Fig. 89. — Diagramme pour différentes électrodes d'un nouvel accumulateur alcalin.

nickel et flocons de nickel (courbe 1) on obtient la courbe de tension 9 qui tombe brusquement à zéro. Si l'on choisit les quantités de matières actives de telle manière que la capacité soit limitée par l'électrode positive, il n'y a pas d'inconvénient à pousser les décharges jusqu'à zéro puisque cette électrode n'en souffre pas et que la négative au cadmium est protégée. On bénéficie encore des avantages ci-dessus énoncés de cette plaque négative.

(*A suivre*). L. JUMAU.

Revues, analyses et informations

Radiodiffusion en France de l'atterrissage des aviateurs Costes et Bellonte aux Etats-Unis.

M. L. Lecornu a présenté à la séance du 6 octobre 1930 de l'Académie des Sciences une note de M. Charles Platrier(1); cette note donne des indications sur l'organisation de la radiodiffusion en France, qui a permis à plusieurs millions d'auditeurs de suivre les diverses étapes de l'atterrissage des aviateurs Costes et Bellonte aux Etats-Unis, après la traversée de l'Océan Atlantique, le 2 septembre 1930. Nous reproduisons ci-dessous le texte de cette note.

J'ai eu à organiser la radiodiffusion en France de l'atterrissage des aviateurs Costes et Bellonte aux Etats-Unis le 2 septembre, au terme de leur traversée de l'Océan Atlantique de l'est à l'ouest. Il n'est sans doute pas sans intérêt de noter les moyens qui ont été employés pour effectuer pour la première fois en France, avec clarté et puissance, la transmission de la parole à une aussi longue distance.

La difficulté principale qui s'est présentée résultait de l'indétermination de l'heure d'arrivée des aviateurs et de la nécessité où se trouvait la Compagnie française de Radiophonie d'assurer la liaison dans de bonnes conditions en toutes circonstances.

C'est pourquoi la réception directe d'une des 76 stations américaines qui ont radiodiffusé pour leur propre compte l'arrivée des aviateurs ne pouvait être envisagée en raison de son caractère trop aléatoire. Il n'en était pas de même de la liaison radiotéléphonique transcontinentale à ondes courtes dirigées sur New-York-Londres. Cette liaison est en effet assurée par trois émetteurs et trois récepteurs de chaque côté de l'Océan, chacun de ces émetteurs travaillant sur une longueur d'onde particulière, de sorte que, selon l'heure du jour, il est toujours possible de choisir la longueur d'onde la plus favorable. De plus, les aériens de ces émetteurs sont constitués par des réseaux d'antennes qui jouent le rôle de projecteurs électromagnétiques et concentrent l'énergie rayonnée dans une direction privilégiée, ce qui contribue à donner à ce genre de liaison une sûreté exceptionnelle. D'ailleurs, l'ancienne liaison par ondes longues non dirigées de Rocky Point à Cupar et de Rugby à Houlton — elle date de 1927 — est toujours prête à entrer en service et à parer à toute défaillance.

La liaison fut assurée par un des émetteurs de Lawrenceville, dans l'Etat de New-Jersey, sur 32 m de longueur d'onde avec une puissance dans l'antenne de 15 kw. Le récepteur était situé à Baldock près de Londres. Le courant modulé venant du microphone installé sur l'aérodrome de Curtiss Field, et devant lequel quatre speakers se relayaient, était acheminé d'une part, par câbles, aux 76 stations américaines du réseau de la National Broadcasting Company, d'autre part à l'émetteur de Lawrenceville.

Après avoir franchi l'Atlantique, l'émission de Lawrenceville était reçue par la station de Baldock, d'où le courant modulé était envoyé à Londres et à Paris par câble spécial. Une dérivation directe prise sur ce câble alimentait les amplificateurs de Radio-Paris. A la sortie de ceux-ci, le courant était envoyé dans quatre directions :

1° Au poste d'émission de Radio-Paris à Clichy ;

2° Aux postes d'Etat de l'Ecole supérieure des Postes, Télégraphes et Téléphones et de la Tour Eiffel ;

3° Aux haut-parleurs installés sur le toit de l'hôtel de l'Automobile Club, place de la Concorde ;

4° Enfin au Théâtrophone.

On estime ainsi que la description de l'atterrissage des aviateurs et les paroles qu'ils ont prononcées devant le microphone ont été entendues par les 50 000 personnes qui stationnaient place de la Concorde, par les 600 000 auditeurs de Radio-Paris, enfin par les 12 à 15 millions d'auditeurs des stations de la National Broadcasting Company.

(1) Charles Platrier. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 6 octobre 1930, t. CXCI, p. 561-562, 900 mots.

Théorie générale des machines électriques (1).

Dans cet article constituant le résumé d'un travail plus complet qui a été présenté en janvier 1930 à la session d'hiver de l'American Institute of electrical Engineers, l'auteur étudie les machines électriques à un point de vue un peu inédit, laissant de côté les éléments tels que le courant magnétisant, la réaction d'armature, le flux de fuites, etc., et ne faisant intervenir que le minimum de variables correspondant toutes à des phénomènes physiques dont aucun, par ailleurs, n'est négligé.

La valeur de toute machine électrique est caractérisée ici par une quantité désignée sous le nom de « thermodynamic efficiency », qui donne une mesure de l'utilisation du fer et de l'espace pour la transformation de l'énergie. Cette quantité joue un rôle fondamental dans le fonctionnement normal ou accidentel de la machine.

L'auteur montre que la théorie de l'alternateur polyphasé est identique à celle du transformateur polyphasé à tension constante si les pertes de flux et forces magnétomotrices sont échangées. Il étudie le diagramme du cercle du transformateur et celui de l'alternateur, ainsi que le diagramme elliptique de l'alternateur à pôles saillants. Il examine à ce propos un certain nombre de problèmes relatifs à la brusque mise en court-circuit ou aux changements rapides de la charge et en donne la solution.

En appliquant la méthode utilisée pour les alternateurs à pôles saillants aux moteurs synchrones qu'il considère ensuite, l'auteur en déduit le diagramme de Blondel ; il fait une étude analogue pour la machine à réaction et pour la commutatrice tandis qu'il applique le diagramme circulaire aux moteurs d'induction polyphasé et monophasé et au moteur à répulsion.

La méthode exposée dans ce travail n'est pas applicable seulement au diagramme circulaire et au diagramme elliptique, elle l'est aussi pour les courbes plus complexes. M. Kron en donne un exemple en développant la théorie complète du moteur à double cage d'écureuil et celle du moteur d'induction compensé utilisé avec ou sans condensateur.

L'auteur a également étudié par la même méthode la théorie des machines à collecteur, des machines polyphasées shunt, ainsi que le moteur série compensé et le moteur d'induction utilisé en cascade.

Enfin, une extension de la théorie de l'« énergie libre » lui permet d'aborder la question des lignes et réseaux de transmission et de tracer les diagrammes donnant les caractéristiques au départ et à l'arrivée. — B. E.

(1) Gabriel Kron. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, avril 1930, t. XLIX, p. 302-305, 1 000 mots, 15 figures.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Les prestations en nature, le plan Dawes et le plan Young

On sait que d'après le plan Dawes les annuités versées par l'Allemagne au titre des réparations comprenaient des prestations en nature dont le montant s'élevait, pour l'annuité 1928-1929, à environ 800 millions de marks-or pour la part de la France. Pour parvenir à absorber des prestations en nature aussi considérables sans trop nuire à notre industrie nationale le Gouvernement français avait dû, dès 1926, prévoir leur utilisation sous forme de grands travaux d'intérêt public. Mais la substitution du plan Young au plan Dawes entraînant une réduction des annuités et la suppression de principe des prestations en nature, le problème se trouve complètement modifié. Dans son rapport au ministre des Finances publié en annexe du « Journal officiel » du 21 octobre 1930, le Comité de Contrôle institué auprès du Service des Prestations en nature expose en détail les solutions adoptées pour résoudre le nouveau problème, sans cependant retarder l'exécution des grands travaux envisagés. Comme parmi ceux-ci quelques-uns se rapportent à l'industrie de la production de l'énergie électrique et que d'autres ne peuvent manquer d'avoir des répercussions sur l'industrie de la construction électrique, nous reproduisons ci-dessous une partie de ce rapport.

I. **Historique. Questions générales.** — L'élaboration du plan Young a divisé la cinquième annuité d'application du plan Dawes en deux périodes de physionomies bien distinctes et même opposées.

1. De septembre 1928 a mai 1929. — La cinquième annuité présentait pour la première fois dans toute son ampleur le problème de l'absorption des réparations allemandes.

Aux annuités croissantes, mais réduites, qui marquaient la période de début du plan Dawes, succédait pour la première fois une annuité normale de 2 500 millions de marks or. Dans cette annuité, la part de la France s'élevait à 1 300 millions de marks. Les sources d'absorption autres que les prestations (entretien des armées d'occupation, prélèvement de 26 pour 100, transferts en espèces) étaient évaluées à 500 millions de marks environ. Soit quelque 800 millions de marks à transférer par prestations.

A l'intérieur des prestations il ne paraissait pas possible d'escompter une extension des prestations spéciales (régions libérées, charbon, approvisionnements divers) qui avaient absorbé pendant la quatrième annuité 332 millions 108 436 marks-or.

Restaient donc les prestations de grands travaux, étant entendu que dans la terminologie des prestations l'on désigne ainsi les prestations *remboursables par annuités*.

Il fallait transférer sur grands travaux 500 millions de marks-or au moins, alors qu'au cours de la quatrième annuité, qui marquait cependant déjà un gros effort, il avait été transféré sur contrats de prestations remboursables par annuités 226 918 261 marks dont 110 millions environ pour des grands travaux proprement dits.

Pour obtenir ce résultat, le service des prestations déclencha un puissant mouvement d'opinion. Appuyé par le comité technique et par le comité de contrôle, il s'efforça de convaincre les industriels français que les prestations de travaux ne méritaient pas la méfiance par laquelle ils les avaient tout d'abord accueillies. On ne pouvait leur reprocher de créer à l'industrie nationale une concurrence injustifiée puisque, sans elle, les travaux entrepris ne l'auraient pas été. Bien au contraire, les prestations allemandes étaient pour l'industrie française elle-même l'occasion de travaux inespérés, puisque l'Allemagne n'était pas, en général, appelée à fournir un ensemble prêt à fonctionner, mais seulement des éléments que le travail national venait compléter et assembler. Très vite d'ailleurs, l'habitude fut prise de n'accepter aucune entreprise qui, à côté des prestations, ne réservait pas une part importante à l'industrie française.

Auprès du public, on fit valoir la nécessité d'absorber les annuités allemandes, le bienfait de l'exécution de travaux qui, remis depuis longtemps en raison de la guerre et des difficultés financières, viendraient rénover l'outillage national et préparer pour l'avenir un large développement de l'activité économique.

Modernisation de l'outillage ferroviaire, travaux d'électrification, extension des ports, remise en état des routes et des canaux, travaux d'urbanisme, habitation à bon marché, mise en valeur des colonies, tels sont, pour n'aborder que les principaux chapitres, les ordres d'idées très variés vers lesquels se portèrent l'activité du service et l'attention publique. La nécessité de transférer les annuités allemandes était devenue le point de départ d'un vaste programme d'outillage national, se chiffrant par dizaines de milliards.

Le Parlement n'a pas ménagé à cette politique son appui et sa sanction.

Les diverses mesures législatives prises pour faciliter

l'utilisation des prestations, notamment par la réduction des formalités administratives, ou par l'octroi de facilités et d'exonérations douanières, ont été examinées dans le dernier rapport annuel du comité. Nous n'y reviendrons ici que pour émettre le vœu que ces simplifications administratives soient étendues à tous les travaux publics et maintenues définitivement.

Mais, en outre, l'article 159 de la loi du 30 décembre 1928 a ouvert aux ministres, en vue de l'utilisation, de l'extension et de l'amélioration de l'outillage national au moyen des prestations en nature, un crédit de 1200 millions de francs, sur lesquels 100 millions, remboursables en trente annuités sans intérêt, devaient être prélevés pour les colonies pauvres et 100 autres millions, pour les départements, en vue de la voirie routière.

Ces mesures ont été efficaces. Le montant des conventions de remboursement approuvées par le ministre du 1er septembre 1928 au 31 mai 1929 dépasse 300 millions de marks-or. Mais il faut y ajouter les ouvertures de crédit en marks faites sur les crédits budgétaires ci-dessus analysés.

Le montant des contrats homologués et celui des marks transférés suivaient une marche parallèlement croissante et l'on peut dire que l'utilisation de l'annuité normale était assurée.

2. DE JUIN A SEPTEMBRE 1929. — C'est alors (fin mai) qu'après 17 semaines de travaux, le comité Young rédigea son rapport qui entraînait un bouleversement dans la politique des prestations.

Non seulement l'annuité de réparation tombait de 2500 millions à 1700 millions environ de marks-or pour les prochaines annuités, mais la part réservée aux prestations était proportionnellement réduite bien davantage. Devant l'hostilité de certains des états créanciers à un système défavorable, selon eux, à leur industrie d'exportation, les livraisons en nature étaient en principe supprimées. Les experts prévoyaient seulement par mesure transitoire un programme décroissant de 750 à 300 millions de marks pour prendre fin au bout de dix ans. Dans ce régime, la part de la France, pour la première annuité Young, était réduite à 230 millions environ, soit moins de 50 pour 100 du programme d'absorption de l'annuité Dawes, car cette somme comprend les versements à effectuer au titre du Recovery Act, soit 21 millions. Pour les années suivantes, les disponibilités varient de 340 à 260 millions de marks pour tomber à 150 millions au bout de dix ans.

En matière de grands travaux en raison des engagements déjà pris, le montant disponible des prestations se trouve, d'après les premières estimations, ramené pour la première annuité Young à 20 ou 22 millions de marks. Or les seules livraisons de charbon devraient atteindre à elles seules dans le dernier trimestre de la 5e annuité Dawes un chiffre équivalent. Il fallait donc choisir entre les prestations immédiatement remboursables et le maintien, qui ne pouvait, en tout état de cause, être que partiel, des prestations de grands travaux, remboursables par annuités ou non remboursables.

Le Ministère des Finances, malgré les réserves du Comité technique et du Comité de Contrôle supprime (sauf l'exécution des conventions générales antérieures), les prestations remboursables dans un délai supérieur à un an et ce pour les raisons ci-après :

1° *Raisons d'économie.* — Quelque soin, dit-il, que le Service des Prestations apporte dans le choix des prestations allemandes, il est cependant certain que les prestations de grands travaux ont un rendement moyen immédiat inférieur à celui des prestations immédiatement remboursables, qui peut atteindre 97 ou 98 pour 100. Cela est dû, non seulement aux avantages divers (abattement, taux d'intérêt réduit) que le service doit consentir, mais aussi au fait que les prix allemands sont parfois sensiblement supérieurs aux prix français.

2° *Raisons législatives.* — Les prestations gratuites ou jouissant de facilités exceptionnelles de remboursement ont permis soit d'accroître les dotations budgétaires de nombreux services publics, soit d'allouer des subventions directes ou indirectes, mais importantes, aux collectivités locales, aux colonies et à diverses branches de l'activité économique. Mais ces dotations ou subventions étaient accordées en marge des règles budgétaires traditionnelles, puisque, dans la loi du 30 décembre 1928, par exemple, le Parlement s'est borné à ouvrir aux ministères un crédit global dont la répartition s'opère en dehors de lui et sur l'emploi duquel il n'exerce qu'un contrôle à posteriori. Une telle situation devient particulièrement critiquable si, par suite du rendement médiocre des prestations de travaux, le crédit ouvert en prestations est, en définitive, supérieur à celui qui résulterait de dépenses normalement votées pour des travaux confiés à l'industrie nationale et il importe de restituer aux Chambres, aussitôt que possible, cette mission essentielle dont elles s'étaient partiellement dessaisies : régler l'emploi des deniers publics.

3° *Raisons d'ordre international.* — On sait que la fraction conditionnelle des annuités Young revenant à la France est égale au montant de nos dettes extérieures. Si une partie des prestations était distribuée gratuitement ou moyennant un rendement médiocre, force serait d'inscrire au budget les crédits nécessaires pour parfaire le service de nos dettes. Comment le Gouvernement pourrait-il accepter de détruire, par un certain emploi des prestations, cette liaison, tout au moins de fait, entre les réparations et les dettes, pour laquelle la France a consenti de si lourds sacrifices ?

A ces conclusions, le Comité de Contrôle fait observer ce qui suit :

S'il est vrai que le rendement des prestations de grands travaux soit inférieur à celui des prestations d'approvisionnement, c'est tout simplement parce que le remboursement des premiers est effectué en vingt-cinq ou trente annuités, alors que celui des autres est fait comptant ou dans des délais très courts. Il est donc

impossible de faire de ce chef une comparaison quelconque entre les deux systèmes ; le tout est de savoir si l'Etat doit tirer plus d'avantages de l'un des systèmes.

Avec celui qui a été adopté par le ministre des Finances, l'Etat est immédiatement remboursé, mais il ne l'est pas en totalité, puisque dans bien des cas, il a dû consentir des abattements dont la moyenne, d'après le rapport à la Chambre de M. Palmade, atteint environ 7,5 pour 100. Il est toutefois juste de préciser que le service est aujourd'hui en mesure d'obtenir une importante réduction de ce pourcentage et, d'autre part, de limiter les achats aux produits qui ne sont pas fabriqués en France.

Si, au contraire, on envisage le rendement des prestations de travaux, il est certain que pour les premières annuités, on ne peut prévoir que des rendements très faibles, mais au fur et à mesure que le temps passe, l'annuité grandit puisqu'en définitive, au bout de trente ans, l'Etat doit être remboursé.

En procédant ainsi, l'Etat ne développe-t-il pas l'outillage économique du pays et ne crée-t-il pas de la prospérité, de la matière imposable ; ne réalise-t-il pas enfin une bonne affaire ?

La réponse n'est pas douteuse et tous ceux qui sont mêlés à la gestion des grands services publics de la nation sont unanimes sur ce point.

Ajoutons, ainsi que nous l'avons dit dans notre rapport sur la 4e annuité, qu'il n'est pas sage de continuer à demander à l'Allemagne des produits transformés ou fabriqués dans lesquels est intégrée de la main-d'œuvre allemande, venant ainsi concurrencer l'industrie française et notre propre main-d'œuvre.

En matière de grands travaux autres que les fournitures d'outillage et de matériel, cette part de main-d'œuvre est réduite au minimum et c'est celle que notre industrie peut supporter le plus facilement.

Passe encore d'accepter des objets fabriqués, ont toujours dit et répété les comités technique et de contrôle, quand l'annuité Dawes atteignait des chiffres considérables, mais à l'heure actuelle cette pratique est inadmissible et, une fois de plus, nous donnons un avis nettement défavorable à tous les contrats privés d'achats de produits ouvrés dans lesquels il entrera de la main-d'œuvre allemande.

L'Administration des Finances, pour tenir compte des engagements pris à l'égard des collectivités et des établissements publics en matière de prestations, propose de remplacer les prestations en nature par des crédits inscrits soit au budget, soit à un programme d'équipement national.

Il ne nous appartient pas de trancher la question de savoir si cette politique financière est la bonne, si c'est celle qui doit satisfaire à la fois les besoins de la trésorerie et du budget et donner à notre industrie la force et la vitalité qui lui permettront de traverser victorieusement la crise écomomique qui sévit et qui menace de s'aggraver. Mais ce que nous voulons, c'est que la chose soit faite en pleine lumière et pour des raisons autres que celles données par l'Administration des Finances.

Séparer les deux annuités conditionnelles et inconditionnelles quand il s'agit de prestations et les réunir dans la même caisse pour la trésorerie sont peut-être choses prévues par les textes, mais nous ne pouvons admettre qu'on dise que le fait d'exécuter des grands travaux par les prestations amène forcément à voter de nouveaux impôts pour payer les dettes interalliées.

Quoi qu'il en soit, le plan Young entraîne inéluctablement une revision des perspectives relatives aux prestations de travaux.

En effet, compte tenu des sommes à provenir du Recovery Act, ainsi que des engagements déjà pris en vertu soit de contrats homologués, soit de conventions générales de remboursement, les sommes restant disponibles s'établissent comme il suit :

	ANNUITÉ millions de marks	PRÉLÈVEMENTS			RESTE DISPONIBLE
		Recovery Act.	Contrats homologués.	Conventions générales.	
Septembre 1929 à avril 1930.....	293,8	21,8	174	60	59
Solde Dawes.....	21				
Avril 1930 à mars 1931.....	400,7	36,4	130	55	179
Avril 1931 à mars 1932.....	338,4	33,1	35	45	225
Avril 1932 à mars 1933.....	336,4	30,6	13	40	253
Avril 1933 à mars 1934.....	334,2	28,7	5,6	35	265
Avril 1934 à mars 1935.....	302	27,1	1,5	5	269
Avril 1935 à mars 1936.....	249,16	23,1	1,6		226
Avril 1936 à mars 1937.....	216,66	20,4			196
Avril 1937 à mars 1938.....	184,66	17,9			167
Avril 1938 à mars 1939.....	152,46	13,3			137
A septembre 1939.....	49,98	4,5			45

On voit de suite l'écart entre le passé, 500 millions de marks-or, et le présent, mais malgré cette diminution il serait encore possible de tenir les principaux engagements pris par l'Etat.

Pour le moment, les conventions par lesquelles le ministre des Finances a ouvert aux intéressés des crédits en marks sont considérées comme liant le Trésor, tout au moins à l'égard des particuliers ou des collec-

tivités administratives jouissant d'une personnalité distincte de celle de l'Etat, avant même qu'en exécution de leurs clauses des contrats passés par les bénéficiaires avec des fournisseurs allemands aient été homologués par la Commission des Réparations. Les engagements pris doivent être tenus.

Quant aux crédits ouverts par le Parlement en vue de subventions ou de prestations gratuites à des collectivités administratives ou à des services de l'Etat, ceux qui n'ont pu être employés peuvent être ou annulés ou reportés en fin d'exercice ; nous estimons que le Parlement ne saurait se refuser au report des crédits qu'il a délibérément engagés pour un objet bien déterminé.

Il ne faut pas oublier, en effet, que le programme de grands travaux dont l'élaboration se poursuivait depuis deux ou trois années a conduit les services publics, les concessionnaires, les départements, communes et colonies, ainsi que nombre d'entreprises privées, à engager des frais considérables. L'opinion publique, d'autre part, s'est habituée à voir dans la rénovation de notre outillage national une condition essentielle de la prospérité du pays. Le brusque abandon de deux catégories de contrats pour lesquels des crédits ont été votés par le Parlement, ou des promesses faites au nom du Gouvernement, suscitera nécessairement de profonds mécontentements.

C'est pourquoi il faut employer une partie des prestations à certains grands travaux publics particulièrement intéressants pour l'équipement national, soit par le vote de crédits nouveaux, d'assurer la continuation et l'achèvement des travaux entrepris, c'est ce que le dernier Gouvernement avait prévu en présentant un programme d'équipement national.

Ajoutons que, malgré les précautions qu'il serait possible de prendre, les prestations d'approvisionnement sont certainement de nature à nuire à notre industrie, dont la situation n'est pas en ce moment des plus prospères.

D'autre part, il est certain que le service devra, en tout état de cause, accueillir les contrats qui auraient le caractère de compléments indispensables de contrats déjà passés. Des ménagements doivent être gardés à l'égard d'organismes que l'Etat vient brusquement arrêter sur la voie où il les avait lui-même lancés, parfois malgré eux, et nous pensions que le comité de contrôle devra insister sur ce point.

Dans cet ordre d'idées, nous signalerons que l'arrêt des prestations était de nature à faire aux colonies pauvres ou sinistrées une situation qui paraît particulièrement favorable.

Nous avons indiqué que les conventions de remboursement passées avec des personnes morales distinctes de l'Etat engagent le Trésor pour leur montant, c'est-à-dire qu'elles autorisent les bénéficiaires à utiliser complètement, dans l'avenir et malgré l'arrêt des prestations de grands travaux, le crédit en marks qui leur a été ouvert.

Mais les conditions de remboursement de l'avance de 100 millions consentie aux colonies pauvres et sinistrées par l'article 159, paragraphe 4, de la loi du 30 décembre 1928 sont fixées par la loi elle-même. Aux termes du paragraphe 5 du même article, le remboursement doit être effectué en trente annuités sans intérêt. Des conventions générales de remboursement pouvaient donc paraître inutiles et il n'en a pas été passé. Il en résulte que ces colonies ne devaient bénéficier que des contrats passés au moment de l'arrêt des prestations de travaux. Mais, en fait, il n'a été homologué qu'un contrat de 36 000 marks. La situation ainsi faite aux colonies pauvres se trouvait donc plus défavorable que celle des colonies riches, ce qui est évidemment injuste et même paradoxal. Aussi, le 22 décembre 1929, le Ministère des Finances a-t-il décidé de ne pas annuler, pour les colonies pauvres, le crédit non employé, mais seulement de le réduire de 100 à 60 millions, de façon qu'en définitive ces colonies reçoivent satisfaction dans la même mesure que les services métropolitains.

II. Etude de l'annuité. Conventions, contrats, payements. — Les affaires traitées par le Service des Prestations traversent quatre phases distinctes:

a) Une *convention* est d'abord passée entre le ministre et le futur consommateur de prestations, afin de mettre à sa disposition un nombre déterminé de marks ;

b) L'acheteur français, titulaire de la convention, passe ensuite avec un fournisseur allemand un *contrat* qui est homologué par la Commission des Réparations ;

c) Puis il obtient du service, pour payer son fournisseur, la délivrance de traites en marks sur l'agent général des payements ;

d) Enfin il rembourse le Trésor, dans les conditions fixées par la convention.

Chacune de ces phases présente un intérêt distinct : la *convention* représente l'avenir, c'est à son sujet que se posent les principales questions d'ordre général dont le Comité de Contrôle a eu à connaître ; le *contrat* indique la mise en œuvre du programme posé par la convention ; la présentation de *traites* à l'agent général des payements entraîne inscription correspondante au crédit de la France et marque l'état d'absorption de l'annuité ; enfin les *payements* mettent en jeu l'équilibre de nos finances publiques.

Nous examinerons donc successivement la situation des conventions et celle des contrats de grands travaux et nous dirons ensuite quelques mots des payements et des difficultés auxquelles ils ont pu donner lieu. Mais nous rappellerons encore une fois que parmi les prestations remboursables par annuités, beaucoup concernent des fournitures dont seule l'importance conduit à l'octroi de délais de remboursement. En fait, correspondent seuls à des travaux proprement dits, parmi les catégories qui vont être examinées, les entreprises de forces hydrauliques et de distribution, d'une part, les ports maritimes et les voies navigables, d'autre part.

Il y a lieu toutefois de préciser que lorsque les prestations sont gratuites ou que leurs conditions de remboursement sont fixées par la loi, la convention devient inutile. L'ouverture de crédits en marks résulte alors de la loi ou de textes pris pour son application et ce sont ces textes qui seront examinés.

1. Conventions. — 1° Le montant des conventions de remboursement passées avec des entreprises concessionnaires ou particulières s'est élevé à près de 350 millions de marks. Mais un certain nombre, parmi lesquelles d'importantes, n'auront pas de suite, généralement parce que les garanties stipulées n'ont pas été constituées. C'est là un point auquel le service ne saurait, en effet, tenir la main trop sévèrement. Parmi les catégories les plus importantes, citons :

a) *Machines, outillage, matières premières.* — Une trentaine de conventions portant sur 12 millions de marks. Il s'agit ici de fournitures, dont seule l'importance relative justifie l'octroi de délais. Aussi ces délais sont-ils de quelques années seulement, de 3 à 10 en général. Il n'y a généralement pas d'abattements. L'intérêt est de 5 à 6 pour 100; souvent il est fixé au taux des avances de la Banque de France. Les engagements pris sont habituellement cautionnés par une banque agréée. Quand il ne s'agit pas de machines dont l'Allemagne a le monopole, une part est réservée à l'industrie française où les syndicats intéressés sont appelés à donner leur adhésion ;

b) *Installations d'usines.* — Trente-sept conventions pour 149 482 000 marks.

Délai généralement de trois à dix ans, exceptionnellement de douze à vingt-cinq ans pour les conventions les plus importantes. Pas d'abattement. Mêmes règles générales que pour la catégorie précédente.

Parmi les conventions les plus importantes, nous signalerons :

Une convention de remboursement de 60 millions de marks avec la Société des Charbonnages de Faulquemont. Il s'agit d'assurer la mise en valeur d'une concession où le gîte est particulièrement profond. Cette couvention est de celles qui pèseront le plus lourdement sur le budget réduit des prestations.

Une convention de remboursement de 9 millions de marks avec la Société des Automobiles Peugeot pour l'agrandissement de ses usines. La part française est de 30 millions de francs.

Une convention de remboursement de 10 millions de marks avec la Société Les Petits-fils de A. Wendel, pour la rénovation de leurs usines lorraines ;

c) *Bateaux.* — Il a été passé :

Dix conventions pour 14 781 000 marks afférentes à la construction, l'achat et la tranformation de navires, notamment un grand cargo à moteur (5 millions de marks) pour la Compagnie générale transatlantique et un pétrolier de 12 300 t (4 millions de marks) pour la Compagnie nationale de Navigation.

C'est là une catégorie de prestations qui en tout état de cause aurait dû être réduite. Il paraît contradictoire de soutenir les chantiers français par l'organisation d'un système légal de crédit et de les concurrencer en facilitant les achats à l'étranger sur prestations. On doit seulement reconnaître que la crise économique anglaise amenait les chantiers britanniques à consentir de telles facilités de crédit que les commandes non passées en Allemagne auraient sans doute bénéficié plutôt à l'industrie anglaise qu'à l'industrie française.

En outre, on s'est orienté au cours de l'annuité vers l'achat en Allemagne, non pas de bateaux, mais de matériaux pour la construction, en France, de bateaux. Dans cette combinaison intéressante, les chantiers français sont maintenus en activité.

Il a été passé ainsi 3 conventions pour 11 millions 500 000 marks dont une importante convention de 9 millions de marks avec la Compagnie Sud-Atlantique.

Il a été, en outre, passé cinq conventions d'un montant total de 7 406 267 marks pour des péniches ou chalands. Il y avait là un programme un peu ambitieux et dont la réalisation aurait peut-être entraîné des mécomptes. Heureusement, les deux principales conventions n'ont pas eu de suite ;

d) *Chemins de fer* (41 350 000 marks). — La seule convention importante est celle qui a été passée avec le réseau de l'Etat pour contribuer à la modernisation et au développement du réseau. Le programme présenté, de 425 millions de francs, comprend surtout des automotrices et des voitures type grande banlieue pour l'électrification du réseau, et du matériel de voie : rails et traverses. La part française est un peu supérieure à celle des prestations. L'exonération des droits de douane est prévue et le remboursement aura lieu en 50 annuités au taux de 3,75 pour 100, conditions très favorables qui, tout en tenant compte de la situation économique défavorable du réseau ainsi que de l'intérêt du programme présenté, comportent évidemment une part de subvention indirecte du fonds commun ;

e) *Travaux de forces hydrauliques et de distribution* (huit conventions pour 50 millions de marks). — En raison de la nature des entreprises, ces conventions comportent des caractéristiques particulières : les délais de remboursement vont de 25 à 30 ans, le taux d'intérêt est faible, mais il est stipulé au profit du Trésor une redevance par kilowatt-heure transmis ou produit. La part française varie de 30 à 80 pour 100, l'exemption des droits de douane est accordée s'agissant de concessionnaires.

Les entreprises les plus importantes concernent : la construction d'un réseau d'interconnexion dans l'ouest (6 670 000 marks), l'électrification de la région strasbourgeoise (7 millions), l'aménagement de la chute de la Truyère (14 millions) et la construction d'une usine hydroélectrique de 50 000 ch sur l'Ain (12 millions de marks) ;

f) Parmi les autres catégories d'affaires, signalons les achats de brevets, notamment l'achat par la Société des Automobiles Peugeot de la licence Junkers pour les moteurs Diesel légers (1 million de marks) et les

affaires d'urbanisme, parmi lesquelles un important contrat avec la Ville de Toulon pour des matériaux de voirie (8 108 000 marks). On s'étonne que pour des marchandises pondéreuses (principalement bordures de trottoirs et pavés), les frais de transport n'aient pas rendu cette affaire impossible;

2° Parmi les conventions de remboursement passées avec des services publics ou des collectivités administratives secondaires, en dehors de l'article 159 de la loi du 30 décembre 1928, les plus importantes sont celles qui ont été passées avec les colonies pour un montant total qui, au 31 décembre 1929, était de 126 millions de marks ainsi répartis :

Indochine	35	millions
Maroc	30	id
Afrique occidentale française	22	id
Madagascar	21	id
Togo	10	id
Côte des Somalis	4	id
Guadeloupe	5	id

Ces conventions stipulent un taux d'intérêt de 3 ou 4 pour 100 avec remboursement en 30 ou 40 annuités;

3° Enfin le crédit alloué par l'article 159 de la loi du 30 décembre 1928 a fait l'objet de 15 décrets de répartion ainsi résumés :

Ministère des Finances (ouvrages scientifiques et machines à calculer)	535 000
Ministère des Affaires étrangères	1 070 000
Ministère de la Guerre (matériel et produits divers)	24 500 000 185 000 000
Ministère de la Marine (pétroliers, docks flottants, gros outillage et matériel de servitude pour les ports)	55 000 000 180 000 000
Ministère de l'Instruction publique (matériel de laboratoire, aménagement de la Cité universitaire)	23 700 000 107 895 000
Services de l'Enseignement technique et Services des Beaux-Arts (équipement du Conservatoire des Arts et Métiers et des écoles nationales professionnelles)	22 000 000
Ministère de l'Air (prototypes d'avions ou de moteurs, hangars, etc.)	58 500 000
Ministère de l'Agriculture (matériel de laboratoire)	6 500 000
Ministère du Travail (aménagement de sanatoria)	50 000 000 2 800 000
Ministère des Travaux publics (ports et voies navigables)	277 500 000
Marine marchande	5 000 000
Total	1 000 000 000

A ces crédits, s'ajoutent les crédits de 100 millions chacun réservés par l'article 159 au Ministère de l'Inrieur pour la voirie, d'une part, et aux colonies pauvres, d'autre part.

Total égal au crédit ouvert par l'article 159 : 1 milliard 200 000 000 de francs.

2. Contrats homologués par la Commission des Réparations. — 1° La Commission des Réparations a homologué au cours de la cinquième annuité, 1596 contrats de grands travaux pour un montant total de 400 millions 683 000 marks.

Ces marchés portent principalement sur les objets suivants :

Matériel électrique	13 941 000 marks
Machines motrices	6 099 000
Machines-outils	9 512 000
Outillage pour industrie textile	3 001 000
Instruments scientifiques	5 363 000
Bateaux	52 665 000
Matériel de voie	23 827 000
Wagons	12 105 000
Pierres	16 012 000
Huiles minérales	12 717 000
Matériel divers	287 151 000

Au point de vue de leur destination, ces contrats se répartissent ainsi :

Ports maritimes	111 391 000 marks
Chemins de fer	39 985 000
Affaires minières et métallurgiques	128 161 000
Affaires hydroélectriques	37 343 000
Affaires diverses	45 924 000
Ministère de l'Air	124 000
Ministère de l'Instruction publique	2 981 000
Ministère des Finances	5 000
Ministère de la Guerre	17 473 000
Ministère de la Marine	30 231 000
Ministère du Travail	141 000
Voirie routière	26 928 000
Colonies	39 996 000
Total	480 683 000 marks

2° Si l'on se place maintenant au 31 décembre 1929 pour l'étude de l'absorption des annuités Young, d'une part, du crédit budgétaire de 1 200 millions d'autre part, on constate :

Que sur un montant total de conventions diverses de 437 132 000 marks, il reste à utiliser 134 219 000 marks ; que sur un montant total de conventions passées avec les colonies riches, de 126 000 000 marks (dont la décomposition a été donnée plus haut), il reste à utiliser 45 000 000 marks, soit des engagements du Trésor s'élevant au total à 134 219 000 + 45 000 000 = 180 000 000 marks, somme dont l'imputation sur les prochaines annuités Young a été indiquée dans la première partie du rapport ;

Que sur le milliard de crédits répartis entre les divers ministères, il reste en instance les sommes suivantes :

Ministère de l'Air	16 000 000 fr
Ministère de l'Agriculture	6 000 000
Ministère de la Guerre	81 000 000
Ministère de la Marine	90 000 000
Ministère des Affaires étrangères	1 000 000
Ministère de l'Instruction publique	108 000 000
Ministère du Travail	35 000 000
Total	337 000 000 fr

Sur le crédit de 100 millions ouvert au Ministère de l'Intérieur il reste à utiliser 1 974 984 marks, soit environ 12 000 000 fr qui ont d'ailleurs été employés depuis la fin de l'annuité.

Enfin, le crédit de 100 millions pour les colonies pauvres est resté inutilisé, sauf 36 000 marks mais, ainsi que nous l'avons dit plus haut, le Gouvernement maintient à leur disposition un crédit de 60 millions.

En définitive, sur le crédit de 1 200 millions, 450 millions environ ne correspondaient plus au 31 décembre 1929 à aucun engagement du Trésor, mais il en a été employé depuis 72 millions (60 pour les colonies pauvres et 12 pour les routes).

Les ministères qui désireraient, à l'avenir, obtenir des livraisons sur prestations ne pourront donc plus le faire sous le régime de l'article 159. Ils devront effectuer le remboursement soit sur leurs crédits budgétaires normaux, soit sur les crédits exceptionnels qui leur seraient ouverts au titre du plan d'outillage national.

Revues, analyses et informations

Un programme économique d'électrification pour l'Europe (1)

L'auteur propose de réduire la consommation de charbon en Europe qui, seulement pour couvrir les pertes dans les installations thermiques, stationnaires et mobiles, s'élevait, par exemple en 1927, à la quantité énorme de 280 millions de tonnes, c'est-à-dire à 45 pour 100 de la production totale de l'Europe. La solution consisterait, à son avis, dans la création d'un réseau international d'énergie hydroélectrique pour la production et la distribution en Europe d'une quantité d'énergie électrique de l'ordre de 50 milliards de kilowatts-heures. Cette quantité d'énergie ne représente d'ailleurs que 8,1 pour 100 de la production d'énergie européenne provenant du charbon, production qui était, en 1927, de 615,5 milliards de kilowatts-heures.

Les économies annuelles réalisées de ce fait seraient tellement considérables qu'en une période de vingt ans un réseau européen d'énergie hydroélectrique avec usines génératrices, d'un prix de revient approximatif de 25 milliards de francs suisses, pourrait être complètement amorti, et ceci, sans avoir pris en considération la possibilité actuelle d'augmenter de 15 ou 20 fois la valeur du charbon par les nouveaux procédés de traitement.

Voici en quelques traits ce que l'auteur propose :

Les centres principaux de consommation d'énergie, c'est-à-dire Londres, Paris, Vienne et Berlin, seraient connectés entre eux par des systèmes à 660 000 v. On se servirait de ce système collecteur pour transmettre les énergies hydroélectriques produites dans le nord, le sud, l'est et l'ouest de l'Europe et on distribuerait selon les besoins de ces régions.

Il est impossible d'évaluer dès maintenant les importants avantages et les économies que permettrait une telle organisation.

Après avoir donné un court aperçu sur la possibilité d'électrification des chemins de fer et de l'agriculture, et avoir estimé assez largement les frais, l'auteur expose les difficultés techniques qu'il faudrait surmonter.

Une étude particulièrement intéressante est faite sur la traversée de la Manche, de Calais à Deal, et sur la traversée de Suède au Danemark. On utiliserait deux digues parrallèles en pierre comportant des points d'appui pour deux systèmes de poteaux.

L'auteur donne quelques chiffres intéressants sur la production d'énergie dans 570 usines génératrices thermiques en Angleterre, où 7,75 millions de tonnes de charbon ont été brûlées et gaspillées en 1927, ce qui correspond à un rendement thermique de 11,5 pour 100, sans tenir compte des pertes énormes occasionnées dans la traction des chemins de fer et dans l'industrie. Il estime qu'il serait beaucoup plus avantageux pour l'Angleterre d'acheter son énergie électrique au réseau hydroélectrique européen que de la produire elle-même dans des installations, même les plus grandes, dont le rendement thermique ne dépasse guère 30 pour 100.

Il attire l'attention sur le fait que la valeur du meilleur charbon, qui autrefois était d'environ 30 francs suisses par tonne, représente aujourd'hui une valeur 15 à 20 fois plus importante, grâce aux méthodes modernes de traitement. En utilisant toutes les valeurs chimiques et minérales, une tonne du meilleur charbon vaut pour la collectivité de 450 à 600 francs suisses. Un gaspillage de 10 millions de tonnes par an équivaut donc à une perte collective de 4,5 à 6 milliards de francs suisses.

L'auteur donne également des tableaux intéressants relatifs à l'année 1927, sur la production mondiale d'énergie provenant du charbon, du lignite, des huiles et de la houille blanche dans les cinq parties du monde et sur la puissance en kilowatts installée ainsi que sur la production d'énergie électrique dans les usines thermiques et hydrauliques de différents pays. Enfin, il pose au point de vue social le grand problème de l'utilisation du charbon et souhaite une restriction assez prononcée du travail des mineurs. — R. L.

(1) Ernst Schonholzer. *Schweizerische technische Zeitschrift*, 5 juin 1930, n° 23, p. 385-397, 4 000 mots, 4 figures, 2 tableaux.

Assemblées générales

Compagnie électrique du Nord.

Assemblée générale ordinaire du 27 juin 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 40 millions de francs et dont le siège social est à Douai (Nord) nous extrayons les renseignements qui suivent :

Au cours de l'année 1929, la compagnie a poursuivi le développement de ses distributions dans la zone qui lui est concédée. Ce développement en surface touche à son terme, la presque totalité des communes, à l'exception des plus petites, étant maintenant électrifiées. Néanmoins, l'augmen-

tation des ventes en haute et basse tension se poursuit normalement. Pour l'avenir, on doit surtout attendre l'augmentation de ces ventes de celle de la consommation.

Des dispositions sont prises pour renforcer les moyens de production et de transmission de l'énergie.

A l'usine génératrice de Beautor deux groupes de deux chaudières Babcock et Wilcox ont été équipés pour alimentation au charbon pulvérisé.

Le prolongement de la grande ligne Nord-Sud a été entrepris de Méricourt vers Vendin, d'une part, et de Péronne vers Roye, de l'autre.

Le nouveau poste de Douai a été achevé. La compagnie a augmenté la puissance installée dans divers postes de transformation.

Un deuxième compensateur synchrone a été installé dans les postes de Gauchy et de Clairoix.

La longueur des lignes à 15 000 v est de 1 517,5 km à fin 1929.

Au 31 décembre 1929, le nombre de réseaux communaux exploités par la compagnie se monte à 294, soit une augmentation de 14 par rapport à l'année précédente (1).

Le nombre des communes alimentées directement ou indirectement est passé de 1 326 fin 1928 à 1 406 fin 1929, soit une augmentation de 80 communes.

Au cours de l'année 1929, la situation administrative s'est trouvée régularisée par l'octroi de deux concessions.

Par décret en date du 3 mai, a été approuvée la concession à la compagnie d'un réseau de distribution d'énergie électrique aux services publics, dans les départements du Nord, du Pas-de-Calais, de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise (2).

Par décret de même date, a été également approuvée la concession à la compagnie d'une transmission d'énergie électrique dans les départements du Pas-de-Calais, de la Somme et de l'Oise (3).

Ces concessions ont été déclarées d'utilité publique : la durée de la première a été fixée à 50 années, celle de la seconde à 60 années.

Les concessions de distribution aux particuliers comprennent 307 communes, au lieu de 267 fin 1928.

Les entreprises auxquelles la compagnie est intéressée ont poursuivi leur marche dans des conditions satisfaisantes.

Le bilan se totalise au 31 décembre 1929 par 174 millions 518 360,57 fr contre 158 582 514,60 fr au 31 décembre 1928. Il accuse un important accroissement des comptes de la société, qui est la marque du développement de ses opérations au cours de l'exercice écoulé.

A l'actif les immobilisations ont augmenté de 10 millions 440 749,63 fr au cours de l'exercice du fait des travaux ci-dessus indiqués et du rachat à l'Etat de diverses lignes et réseaux établis sur le crédit des installations provisoires. Ce rachat a été opéré par imputation sur les créances de la compagnie sur dommages de guerre.

Le poste Etat français, titres de créances a diminué de 3 031 859,28 fr par suite des mêmes opérations et par imputation d'avances. Le reliquat de crédit est sensiblement équivalent au montant des sommes qui restent à payer à l'Etat pour rachats de réseaux et de matériel. L'apurement de ces comptes se poursuit régulièrement.

Le compte banquiers présente une augmentation de 6 142 980,63 fr.

Le compte actionnaires a diminué de 1 285 900 fr par suite des versements des actionnaires qui ont profité de la faculté de libérer les titres de la dernière émission.

Au passif, en vertu des décisions de l'assemblée générale dernière, la réserve légale a augmenté de 658 593,27 fr et la réserve à la disposition de l'assemblée générale de 2 000 000 fr.

Les amortissements et réserves industriels ont augmenté de 10 882 550,91 fr et le fonds de prévoyance de 448 500 fr par suite des affectations opérées par le conseil d'administration.

Les autres postes du bilan ne présentent rien de particulier à signaler.

Le solde bénéficiaire de l'exercice 1929, après déduction des amortissements et réserves industriels, s'élève à 15 520 677,92 fr contre 13 171 865, 67 fr pour l'exercice 1928.

Les bénéfices disponibles sont répartis comme il suit : à la réserve légale 5 pour 100, soit 776 033,90 fr; premier dividende de 4 pour 100 aux actions 1 437 378,70 fr.

Sur le reste, soit 13 307 265, 32 fr, il est attribué 10 pour 100 au conseil d'aministration, soit 1 330 726,53 fr.

Le solde auquel est ajouté le report de l'exercice 1928, soit 1 976 574, 61 fr, s'élève à 13 953 113,40 fr.

Après attribution aux actions d'un deuxième dividende de 23 pour 100, soit 9 200 000 fr, et déduction pour réserve à la disposition de l'assemblée générale d'une somme de 3 000 000 fr, il reste un solde de 1 753 113,40 fr qui est reporté à nouveau.

Cette répartition représente un dividende brut de 27 fr par action entièrement libérée et de 25 fr par action libérée de moitié.

Un acompte de 10 fr brut par action entièrement libérée et de 8 fr par action libérée de moitié a été mis en paiement le 27 décembre 1929.

Le solde, soit 17 fr brut par titre, est mis en paiement le 1er juillet sous déduction des impôts correspondants. Il est payé net 14,42 fr par titre nominatif et 12,38 fr par titre au porteur.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

		fr
Actif immobilisé (immeubles, installations, matériel)		103 931 093,96
Portefeuille, titres d'annuités, etc		19 989 948,50
Certificats de créance (Etat français)		952 971,29
Acomptes sur commandes et travaux en cours		1 768 170,74
Approvisionnements		6 489 175,19
Caisses		171 363,20
Banques		18 116 349,18
Clients et débiteurs divers		15 547 809,81
Actionnaires		3 714 100 »
Acompte sur dividende 1929		3 837 378,70
		174 518 360,57

Passif.

		fr
Capital actions		40 000 000 »
Réserve légale		2 808 583,77
Réserve à la disposition de l'assemblée générale.		12 000 000 »
Amortissements et réserves industriels		49 172 826,21
Fonds de prévoyance		2 153 200 »
Versements non appelés sur portefeuille		697 975 »
Fournisseurs et créditeurs divers		15 506 736,49
Emprunt sur annuités		1 708 053,40
Dommages réglés (frais supplémentaires. Solde du compte)		32 973 733,17
Groupement des Sociétés d'Energie électrique	16 981 751 »	pour mémoire.
A déduire : Etat français (annuités)	16 981 751 »	pour mémoire.
Profits et pertes :		
Report de l'exercice 1928		1 976 574,61
Résultats de l'exercice 1929		15 520 677,92
		174 518 360,57

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 30 novembre 1929, t. XXVI, p. 896.

(2) Voir *Bulletin R. G. E.*, 8 juin 1929, t. XXV, page 186 B.

(3) Voir *Bulletin R. G. E.*, 1er juin 1929, t. XXV, p. 175 B.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 20. — 15 NOVEMBRE 1930.

Chronique. — Société française des Electriciens : Séance du 8 novembre 1930, p. 761. — La septième Semaine de Discussions de la Société française des Electriciens, p. 763. — Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique de divers projets de normalisation, p. 763. — Bibliographie : Die Elektrizitätsgesetzgebung der Kulturländer der Erde (La législation de l'électricité dans les pays civilisés du monde), par G. SIEGEL, p. 763; Les quanta, par Georges DÉJARDIN, p. 764; Verhandlungen des Ausschusses für Einheiten und Formelgrössen in den Jahren 1907 bis 1927 (Résolutions du Comité des Unités et des Symboles des années 1907 à 1927), par J. WALLOT, p. 764.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (septembre 1930) p. 765.

Section scientifique et technique. — Sur l'emploi des moteurs asynchrones en court-circuit, par J. LE MONNIER, p. 771. — Revues, analyses et informations : Phénomènes de force électromotrice, de résistance et de capacité ayant pour siège les piles photovoltaïques contenant des composés organomagnésiens de Grignard, p. 779; La recombinaison des ions dans l'air et dans l'oxygène dans ses relations avec la nature des ions gazeux, p. 779; Le rôle de l'âme de métal dans les filaments recouverts d'oxyde, p. 780; L'étalonnage de la chambre à ionisation en forme de dé, p. 780.

Section industrielle. — L'usine hydroélectrique de Riedji à commande automatique, par R.-W. MEUNIER, p. 781. — Les accumulateurs électriques d'après les brevets récents (*suite et fin*), par L. JUMAU, p. 786. — Revues, analyses et informations : L'accumulateur Drumm, p. 796.

Section de législation. — Application rigoureuse de la loi du 27 février 1925 à une demande de relèvement de tarifs, par Paul BOUGAULT, p. 797. — Législation, jurisprudence, réglementation : Décret promulguant les conventions signées à La Haye le 6 novembre 1925 en vue de modifier les conventions antérieures de Paris et de Madrid concernant le dépôt des dessins ou modèles industriels. p. 800; Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux sur les excédents de recettes provenant de la vente de l'énergie électrique, p. 800; Sur les cotisations aux assurances sociales des ouvriers algériens travaillant temporairement en France, p. 800.

Société française des Electriciens : Séance du 8 novembre 1930. — Cette séance a eu lieu sous la présidence de M. E. Brylinski, ancien président de la Société française des Electriciens, M. Parodi, président en fonction, étant absent; l'ordre du jour comportait une communication de M. E. MATHIAS, correspondant de l'Institut, directeur de l'Observatoire du Globe du Puy de-Dôme, intitulé *La foudre globulaire* et dont nous donnons ci-après le résumé.

COMMUNICATION DE M. E. MATHIAS. — 1° *Préliminaires.* — Quand une décharge électrique se produit entre un nuage et la terre ou entre deux nuages, l'éclair, le tonnerre et la foudre sont respectivement le phénomène lumineux, sonore et total. Arago remarqua que, si la foudre produit du vide en traversant l'atmosphère, le tonnerre en sera la conséquence. A cause de la rentrée de l'air dans le vide le tonnerre d'Arago est un tonnerre centripète. Le philosophe Schopenhauer a, au contraire, imaginé un tonnerre centrifuge qui serait causé par une explosion de gaz tonnant produite par l'éclair, ce gaz résultant d'une décomposition préalable de la vapeur d'eau des nuages par la différence de potentiel croissante qui donnera naissance à l'éclair. Arago et Scopenhauer ont vu chacun une face de la réalité.

2° *Théorie actuelle.* — Lorsqu'un éclair fulgurant jaillit en transportant une charge électrique m entre deux régions de potentiels V et V', il se produit aux dépens de l'énergie $m(V - V')$ entre les éléments de l'air (oxygène et azote probablement) une combinaison chimique endothermique, donc explosive, d'après Marcelin Berthelot, formée avec contraction des éléments composants. Cette combinaison est stable seulement au voisinage de la très haute température (2 500° C?) à laquelle elle s'est formée. Appelons matière fulminante cette substance encore inconnue, un peu plus lourde que l'air, vraisemblablement un oxyde de l'azote $Az^p O^q$ de poids moléculaire décuple environ du poids moléculaire de l'oxygène. Lorsque la décharge électrique qui dure quelques millièmes de seconde a cessé de passer, la matière fulminante constitue un « reste d'éclair », lequel se refroidit rapidement, devient instable et détonne en libérant d'un seul coup l'énergie énorme absorbée lors de sa formation. Consécutivement à la décharge électrique qui a pour résultat la matière fulminante émettrice d'une énorme quantité de rayons ultraviolets (éclair), se produisent : par la rentrée de l'air dans le vide, le « tonnerre d'Arago », puis, par l'explosion de la matière fulminante, « le tonnerre de Schopenhauer », qui se succèdent de si près que l'oreille les confond.

La matière fulminante, se détruisant par explosion, se réduit en ses éléments et redonne de l'air, c'est-à-dire sans laisser de trace, ce qui est bien conforme à l'observation.

3° *Formes terminales plus ou moins exceptionnelles de l'éclair fulgurant.* — L'agent de transformation, qui permet de passer de l'éclair linéaire initial plus ou moins sinueux aux formes terminales, est la tension superficielle de la matière fulminante, laquelle agit en rétractant la surface extérieure de ce corps endothermique. Selon la quantité de l'explosif formé, le refroidissement est plus ou moins lent et la tension superficielle a, ou n'a pas, le temps de réduire suffisamment la surface extérieure du reste d'éclair pour montrer des formes plus ou moins exceptionnelles.

Dans le cas d'une décharge d'une extrême violence, produisant vers 100 m d'altitude une grande quantité de matière fulminante, celle-ci, alors que les nuages sont très bas et la température très élevée, affecte la forme d'un cylindre de quelques décamètres de longueur et de plusieurs centimètres de diamètre. Sous l'influence de la tension superficielle et tout en tombant, la matière fulminante se rétracte, augmentant son diamètre et diminuant sa longueur jusqu'à ce que, la surface devenant minimum, le fluide affecte la forme sphérique. Pendant ce temps, la matière fulminante se refroidit, mais par une surface qui, rapportée à l'unité de volume, est de plus en plus petite, le minimum de refroidissement correspondant à la forme sphérique. L'éclair initial linéaire est blanc éblouissant; tout en changeant de forme, il se refroidit et passe du blanc au jaune et du jaune au rouge, montrant ainsi le refroidissement de sa surface.

4° *Chute de la matière fulminante.* — La matière fulminante, formée d'air condensé, est un peu plus lourde que l'air amosphérique malgré sa température initiale très élevée; elle doit donc tomber. Cette chute est un phénomène réel qu'on n'observe cependant qu'exceptionnellement à cause de la brièveté de la durée de l'éclair fulgurant et de la vitesse initiale nulle dans la chute des corps. On en connaît deux exemples récents, celui du 21 mai 1924, à Bitschwiller, vu par M. Jean Kœchlin, et celui du 9 septembre 1877, à Velletri, près de Rome, vu par le professeur Galli.

5° *Eclairs sphériques.* — L'éclair sphérique, ou plus généralement globulaire, provenant de la transformation, sous l'influence de la tension superficielle, de la matière fulminante d'un éclair linéaire, il en résulte que plus celui-ci sera long et large et plus la sphère sera grosse. L'idée la plus simple est de supposer l'éclair sphérique formé de couches sphériques isothermes et concentriques, la température diminuant d'une manière continue du centre à la périphérie. La surface $\frac{3}{R}$ de l'unité de volume étant très grande pour les petites sphères et très petite pour les grosses sphères, on comprend que les éclairs de petit rayon puissent disparaître par une évaporation de plus en plus rapide à mesure que R tend vers zéro, sans faire de bruit appréciable. Pour les gros globes, au contraire, la décomposition des molécules superficielles ne suffit pas à assurer le refroidissement de la matière fulminante. Celle-ci étant incandescente est bonne conductrice de la chaleur, la température intérieure, le long d'un rayon, variant peu de la circonférence au centre. Quand la périphérie arrive à la température d'instabilité, le centre lui-même en est peu éloigné, en sorte que toutes les couches concentriques explosent sensiblement en même temps.

De nombreuses exceptions échappent à l'explication précédente. Tandis que de très petites sphères explosent, certains gros globes disparaissent presque sans bruit; d'autres fois. ils ont des éclatements partiels répétés qui expulsent de leur sein, avec une très grande vitesse, des masses variables de matière incandescente. La persistance des impressions lumineuses sur la rétine donne à ces projections l'apparence de fusées, ou d'éclairs, ou de langues de feu, le contact des matières lancées avec les corps vivants (hommes ou animaux) donnant des secousses électriques allant de l'électrocution à la secousse bénigne. Enfin, certains globes ont un appendice caudal de forme variée, lumineux ou fumeux, simple ou multiple. La théorie simpliste précédente est donc profondément insuffisante.

Dans ce qui suit, l'auteur appelle foudre toute agglomération de matière fulminante. Etudiant, en particulier, les foudres sphériques, il se propose de montrer que, quand la matière fulminante est pure, elle jouit toujours, toutes choses égales d'ailleurs, des mêmes propriétés et se retrouve la même à toutes les époques.

Le mode même de génération des foudres par rétraction de la surface libre fait rentrer à l'intérieur des éléments froids extérieurs, la matière fulminante devenant ainsi nécessairement hétérogène. On admet, à l'exemple de certaines poudres, que la matière fulminante qui, par refroidissement extérieur, a commencé à se décomposer, en rentrant dans l'intérieur où elle se réchauffe, ne retrouve plus sa stabilité première, l'hétérogénéité de la masse incandescente étant une réalité. Cela étant, des hypothèses simples sur la répartition des masses froides (hétérogénéités thermiques) expliquent l'appendice caudal, les explosions partielles et l'éparpillement de la matière fulminante sous forme d'un bouquet de fusées. Enfin, les hétérogénéités thermiques de la surface expliquent les mouvements les plus divers et les plus capricieux des éclairs globulaires.

6° *Hétérogénéités chimiques.* — Dans une foudre sphérique née d'un éclair fulgurant qui a éclaté, s'est transformé, est tombé dans un air sans corps fixe ou organique en suspension, la matière fulminante est pure ; en se développant, elle prend la succession des couleurs du corps noir qui se refroidit (jaune, orangé, rouge avec toutes les teintes de passage en 60 pour 100 des cas). Dans 25 pour 100 des cas, la couleur superficielle est caractérisée par du bleu, seul ou superposé aux couleurs du refroidissement du corps noir. Le corps qui apporte la couleur bleue est le soufre, corps qui existe dans le protoplasma des corps vivants (végétaux et animaux). L'air tenant en suspension des corps fixes et de la matière organique, végétale ou animale, quand un éclair jaillit, la matière fulminante électrisée attire ces substances et les absorbe. Elle est alors impure, par rapport à celle formée dans un air sans matière en suspension. Celle-ci n'a pas d'odeur, laquelle est liée à la présence du soufre, donc à la présence de la couleur bleue dans les foudres globulaires.

7° *Foudres noires, grises ou blanches.* — La calcination par la matière fulminante incandescente des tissus organisés donne de la vapeur d'eau et du noir de fumée. Si le potentiel électrique est assez faible pour que la pression moléculaire de Laplace $\frac{2A}{R}$ soit plus grande que la pression électrostatique, le carbone et l'eau restent à l'intérieur de la surface sphérique de rayon R ; si le potentiel est suffisamment élevé, la pression électrostatique l'emporte sur la tension superficielle A, le carbone et l'eau peuvent se répandre autour du globe incandescent, qui devient une foudre habillée, laquelle apparaît à l'observateur comme un petit nuage entourant la foudre intérieure. Selon les quantités respectives de carbone et d'eau, le petit nuage est noir, gris ou blanc. Dans le cas des faibles potentiels, au contraire, la foudre sera une sphère noire, grise ou blanche. L'absorption des pous-

sières flottant dans l'air agité résulte de la définition même des corps électrisés qui attirent à eux les corps légers.

8° *Recherche d'une valeur approchée de l'énergie ω de la matière fulminante par centimètre cube.* — On emploie, à cet effet, deux méthodes inverses. L'une utilise l'éclair fulgurant descendant, de longueur l, de section S en centimètres carrés, éclatant entre deux régions de potentiels V et V', en volts, la décharge d'énergie W transportant m, en coulombs. Alors, on a, G étant le gradient de potentiel en volts par mètre, l s'exprimant en mètres et W, en joules,

$$W = m\,(V - V') = ml\,\frac{V - V'}{l} = mlG;$$

d'où

$$\omega = \frac{W}{100\,lS} = \frac{m}{100\,S}\,G,$$

ω est indépendant de la longueur de l'éclair et du régime de la décharge; on n'a pas à connaître la durée de l'éclair. Pour $G = 800$ kilovolts par mètre, $m = 30$ coulombs, $S = 10$ cm²,

$$\omega = 2\,400 \text{ kg-m} : \text{cm}^3.$$

Dans le calcul précédent, on admet que le volume de l'éclair est celui de la matière fulminante créée; l'erreur commise est donc par défaut. Mais, de plus, on calcule l'énergie initiale et non l'énergie finale au moment de l'éclatement. On commet ainsi une erreur par excès. Une seconde méthode, plus précise, permet de montrer que ces deux erreurs de système contraire se compensent sensiblement.

9° *Energie Ω de la matière fulminante par gramme.* — La matière fulminante ayant sensiblement la densité de l'air, un centimètre cube de celle-ci pèse 1,3 milligramme. On tire de là que Ω est supérieur à 5 000 calories. Or, la nitroglycérine ne dégage par gramme que 1 320 calories, soit presque quatre fois moins! — E. M.

La septième Semaine de Discussions de la Société française des Electriciens. — Ainsi que nous l'avons annoncé dans notre numéro du 20 septembre, les séances de la septième Semaine de Discussions de la Société française des Electriciens auront lieu du lundi 24 au samedi 29 novembre conformément au programme publié à la page 153 B du présent numéro. La séance d'ouverture sera présidée par M. H. Parodi, président de la Société; les six séances de travail, réparties entre les six sections du Comité d'Administration de la Société française des Electriciens, se tiendront l'après-midi et, éventuellement le soir à l'Hôtel de la Société des Ingénieurs civils de France pour la présentation et la discussion des communications techniques.

Suivant l'usage établi depuis l'année 1928, les matinées de la Semaine de Discussions seront employées à des visites d'usines et de laboratoires industriels conformément au programme précité.

Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique de divers projets de normalisation. — Le Comité de Normalisation de la Mécanique soumet à l'enquête publique, dans le numéro d'octobre 1930 de son « Bulletin mensuel », deux projets de normalisation concernant les manivelles équilibrées (CNM 103) et les manettes de blocage (CNM 102). Ces projets ont été établis en tenant compte de la normalisation des poignées de machines déjà fixée par la norme CNM 101.

Normalisation des manivelles équilibrées. — Sur chacune des manivelles prévues s'adapte une poignée normale et les dimensions de la manivelle sont déterminées en conséquence.

En outre, les dimensions principales de la manivelle ont été échelonnées en série Renard, conformément aux directives du Comité supérieur de Normalisation, ce qui a l'avantage de rendre homothétiques, suivant deux types différents seulement, les manivelles brutes avant perçage.

L'entraînement peut se faire soit par carré d'entraînement, soit par emmanchement cylindrique lisse, les dimensions correspondantes étant prises dans le premier cas dans la norme des carrés d'entraînement (CNM 67), dans le second parmi les termes de la série internationale S. I. à intervalles doublés.

Dans la norme, seuls sont indiqués, pour chaque manivelle, le maximum du carré d'entraînement et le maximum de l'emmanchement.

Normalisation des manettes de blocage. — L'exécution des modèles en grandeur naturelle des manettes proposées a permis de déterminer la meilleure dimension à donner aux queues pour qu'elles soient aussi bien en mains que possible.

Les autres dimensions de manettes ont été déterminées par la nécessité de pouvoir raccorder la queue à la partie sphérique d'une manière satisfaisante et de donner à cette partie sphérique une importance suffisante pour qu'elle admette des emmanchements convenables.

Trois modes d'emmanchement ont été prévus, pour lesquels, comme dans le cas des manivelles, on n'a indiqué que la dimension maximum. Les carrés d'entraînement sont ceux de la norme CNM 67; les diamètres filetés sont ceux de la série internationale S. I., et les diamètres lisses sont pris dans cette même série S. I. à intervalles doublés.

Deux exécutions de manettes ont été prévues, l'une avec queue horizontale, l'autre avec queue inclinée à 60° sur la verticale. L'une et l'autre s'obtiennent par usinage à partir de la même pièce brute.

Toutes objections à ces projets, dont un exemplaire gratuit pourra être envoyé sur demande pendant la durée de l'enquête, devront parvenir au Comité de Normalisation de la Mécanique, 92, rue de Courcelles, Paris (8e), avant le 31 décembre 1930, date de clôture de l'enquête publique.

Bibliographie : Die Elektrizitätsgesetzgebung der Kulturländer der Erde (La législation de l'électricité dans les pays civilisés du monde). par G. Siegel, docteur-ingénieur (1). — L'auteur de cet important ouvrage, dont trois volumes viennent de paraître, a été incité à l'entreprendre comme rapporteur d'une commission désignée par le Reichstag pour l'étude des conditions de la production et de la distribution de l'énergie en Allemagne. Le premier volume traite de la législation en Allemagne; le deuxième se rapporte aux pays de l'Europe orientale; le troisième, à

(1) Trois volumes, format 21 cm × 15 cm, de 570, 1 060, et 836 pages édités par le V. D. I. Verlag G. m. b. H., à Berlin N. W. 7. Prix relié, 60 marks (54 marks pour les membres du Verein der deutscher Ingenieure).

ceux de l'Europe occidentale, tandis que dans le quatrième volume seront publiées les données relatives à la législation de l'électricité dans les pays des autres continents.

Dans chacun de ces volumes sont reproduits les textes des lois, décrets, etc., d'une façon générale, de toutes pièces les plus diverses présentant un caractère officiel et donnant quelques indications sur les conceptions que peuvent avoir les administrations intéressées sur le développement des applications de l'électricité. C'est ainsi qu'en ce qui concerne l'Allemagne, par exemple, l'auteur donne le texte de la loi du 1er juin 1898 concernant les unités électriques; plus loin, on trouve, dans ce même volume, des lois relatives aux conditions auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique en général ou telle installation particulière; cette étude s'étend non seulement à la législation d'Empire, mais à celle des divers états qui constituent l'Allemagne, d'où l'importance de ce premier volume.

C'est dans le même esprit que sont conçus les deux autres volumes, dans lesquels néanmoins n'ont pu être réunis que les éléments essentiels.

Mais le travail de l'auteur ne s'est pas borné à chercher les textes des lois intéressantes; il les commente dans un aperçu général relatif à chacun des pays considérés; c'est cet aperçu, souvent très développé, qui constitue l'œuvre personnelle de M. Siegel et qui donne à l'ouvrage un caractère original. L'auteur traite des circonstances qui expliquent la législation en vigueur, montre l'évolution des tendances qui se traduit par les modifications apportées aux lois primitives et est amené à développer des considérations d'ordre économique qui donnent une idée précise de l'état du pays auquel se rapporte l'étude. — A. C.

Bibliographie : Les quanta, par Georges DÉJARDIN, professeur à la Faculté des Sciences de Dijon (1). — Pourquoi et comment la notion des quanta a-t-elle été introduite dans la physique? Comment s'est-elle développée et a-t-elle été confirmée? Quelles sont ses applications? Quel est son avenir? Telles sont les diverses questions traitées dans cet ouvrage de la collection Armand Colin.

Conçue pour expliquer le rayonnement, la théorie des quanta s'est étendue à l'interprétation de la diminution des chaleurs atomiques des solides aux basses températures, à celle des phénomènes photoélectriques et de la diffusion des rayons X (effet Compton). L'auteur expose, dans chacun des cas envisagés, la nécessité de faire intervenir cette notion des quanta, en faisant ressortir la nature du phénomène observé, éventuellement les anomalies qu'il présente par rapport aux conceptions basées uniquement sur la mécanique classique et les hypothèses admises dans la nouvelle théorie.

Les applications considérées ici sont celles qui sont faites de cette théorie à la spectroscopie. Ce chapitre, de beaucoup le plus important de l'ouvrage, montre le parti que l'on a pu tirer de cette notion des quanta dans les investigations de la physique moléculaire. A un exposé de l'application de la théorie des quanta au mouvement matériel en général succèdent une étude de l'oscillateur linéaire et du rotateur, puis des considérations sur la théorie de Bohr et sur les spectres de l'hydrogène et de l'hélium, considérations qui conduisent à la définition des potentiels critiques et à l'examen des relations entre ces potentiels et les raies spectrales. La notion des quanta, intimement liée à celle de l'électron, permet d'expliquer les phénomènes spectroscopiques. Elle intervient aussi dans l'interprétation des phénomènes thermoioniques, de l'effet Döppler-Fizeau et de l'effet Raman qui font également l'objet d'un chapitre de l'ouvrage qui nous occupe.

Conduit au cours de cet exposé à montrer à plusieurs reprises, le caractère contradictoire des deux notions qui sont à la base de nos conceptions sur des phénomènes également importants, la notion des ondulations et celle de la discontinuité, ou de l'émission, l'auteur donne dans le dernier chapitre, un aperçu des premiers pas faits vers la synthèse de ces deux notions, sous le titre de « Nouvelles mécaniques quantiques ».

Ce chapitre constitue une réponse à la question relative à l'avenir de la notion des quanta dont le remaniement s'impose.

En donnant ce tableau des faits, M. Déjardin a évité autant que possible les complications d'ordre mathématique pour insister au contraire sur les principes fondamentaux et sur les vérifications expérimentales. Ainsi conçu, cet ouvrage constitue une intéressante introduction à des études plus complexes relatives à la physique moderne dans laquelle la notion des quanta joue un rôle essentiel. — A. C.

(1) Un volume, format 17,5 cm × 11,5 cm, de 224 pages, avec 33 figures dans le texte, édité par la librairie Armand Colin, 103, boulevard Saint-Michel, à Paris (5e). Prix : broché, 10,50 fr; relié, 12 fr.

Bibliographie : Verhandlungen des Ausschusses für Einheiten und Formelgrössen in den Jahren 1907 bis 1927, (Résolutions du Comité des Unités et des Symboles des années 1907 à 1927), par J. WALLOT (1). — Dans la préface de la première édition de cette publication, en 1914, et qui est reproduite dans cette nouvelle édition, M. Strecker définit le rôle du comité en question après avoir rappelé les diverses réunions internationales, congrès et conférences, qui ont eu lieu depuis 1881 en vue de préciser les définitions et les unités des grandeurs électriques et magnétiques. Ce comité, créé en 1907 pour traiter cette question en ce qui concerne les pays de langue allemande, collabore avec la Commission électrotechnique internationale.

La publication qui nous occupe, établie par M. J. Wallot, sous la direction du comité précité, contient les définitions adoptées pour les diverses grandeurs mécaniques, électriques et magnétiques et des commentaires des résolutions se rapportant à ces définitions; disons tout de suite que l'on ne trouve pas dans ce volume les définitions de toutes les grandeurs, mais uniquement celles qui ont fait l'objet d'une discussion et d'une résolution dans les années 1907 à 1927. Dans les commentaires sont exposés les divers avis émis lors de la discussion.

La dernière partie de ce volume est consacrée aux projets de résolution; il s'agit là de questions sur lesquelles l'accord unanime n'a pu se faire et qui sont en quelque sorte réservées. Nous relevons dans ces questions celle relative aux grandeurs en courant alternatif; on y trouve une proposition relative aux symboles permettant de distinguer le courant actif et le courant réactif, etc.; à noter aussi une proposition sur la façon d'écrire les équations définissant un phénomène physique avec la mise en évidence des unités. — A. C.

(1) Un volume, format 29,7 cm × 21 cm, de 50 pages, édité par la librairie Julius Springer, 23-24, Linkstrasse, à Berlin W.9. Prix : broché, 5 marks.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique (Septembre 1930)

Nous avons donné dans notre numéro du 27 septembre 1930 un aperçu de ce que fut le troisième Congrès de l'Union internationale des Distributeurs et Producteurs d'Lnergie électrique qui s'est tenu à Bruxelles du 4 au 14 septembre 1930, en précisant les diverses manifestations auxquelles il donna lieu. Avant de commencer la publication du compte rendu des rapports qui ont été présentés et discutés au cours de ce Congrès, nous reproduisons ici le texte des discours prononcés à la séance d'ouverture, le 4 septembre, au Palais des Académies, par M. Raoul Lechien, président de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, et par M. van Caeneghem, ministre des Travaux publics ; nous donnons également le texte du discours de M. Genissieu, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, représentant officiel du Gouvernement français au Congrès, discours qui fut prononcé au banquet offert aux membres du Congrès le 5 septembre par la Société de Traction et d'Electricité. On trouvera également dans les lignes qui suivent le texte des télégrammes échangés avec Sa Majesté le Roi des Belges et enfin celui d'une résolution très importante prise dans la séance du mercredi matin 10 septembre. Dans les numéros suivants seront publiés les comptes rendus des rapports.

Discours de M. Lechien

Président de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique

EXCELLENCE, MONSIEUR LE MINISTRE,
MESDAMES, MESSIEURS,

Les producteurs et distributeurs d'énergie électrique, par la nature même de leur industrie, ont le privilège de n'être point concurrents sur les marchés mondiaux. Les frontières et les barrières douanières dont on se plaît à les hérisser ne les préoccupent pas. Entre pays voisins, ils s'apportent, au contraire, une aide réciproque suivant les conditions géographiques, hydrographiques et minérales des régions alimentées.

Aussi les électriciens ont-ils établi depuis très longtemps des unions nationales qui se réunissent périodiquement. Il est banal de rappeler ici l'inoubliable succès des congrès organisés par nos collègues français à Marseille, Paris, Grenoble, etc., où, nombreux, nous allions puiser un peu de cette belle pensée française, un peu de science pure et de technique précise, qui viennent une fois de plus d'être mises en valeur par l'exploit prodigieux de Costes et Bellonte réunissant d'un seul coup d'aile de l'est à l'ouest l'ancien continent à la jeune Amérique.

C'est en suivant ces réunions, en 1924, que quelques collègues italiens, français et belges, constatant une fois de plus que les questions qui préoccupaient les distributeurs français, préoccupent, dans une mesure équivalente, les distributeurs des autres pays, eurent l'idée de constituer l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, qui ouvre aujourd'hui son troisième Congrès. Un congrès, c'est, diront les esprits maussades, une de ces réunions trop nombreuses qui font perdre beauconp de temps et n'apportent aucune connaissance nouvelle à ceux qui lisent les revues scientifiques. Un congrès, dirons-nous, c'est une réunion de techniciens avertis, désireux de se communiquer mutuellement les efforts de leur esprit, les résultats de leurs recherches scientifiques, heureux de nouer des relations, de raviver des amitiés, de vivre, pendant une semaine, la vie féconde de ces assemblées consacrées à l'examen et à la discussion de rapports sur les questions les plus diverses de leur profession. Et puisque l'esprit de concurrence n'arrête nullement leur élan, nos collègues, sans nuire en quoi que ce soit aux intérêts dont ils ont la garde, pourront, en toute liberté et en toute confiance, apporter leur concours le plus complet au développement de la technique électrique qui est en évolution constante, ce qui exige que, périodiquement, on fasse « le point ». Car, ainsi que le disait au Congrès de 1928, M. Henri Cahen, président du Syndicat français de notre profession « le progrès d'hier est dépassé chaque jour par la création de demain ».

Dès 1926, un an après sa constitution, sous l'énergique impulsion de son premier président, l'honorable professeur ingénieur Ponti, l'Union internationale organisait son premier Congrès qui réunissait 360 participants venus de douze pays différents à Rome. A Rome, la ville éternelle et fascinatrice où nous vîmes un peuple, jaloux de sa puissance et unanimement uni pour la développer sous la conduite d'un gouvernement énergique et pour développer particulièrement l'industrie électrique et la rendre digne de ses nobles créateurs : Volta, Ferraris, Paccinoti, Marconi, et bien d'autres.

Tous, nous avons encore présentes à la mémoire cette impressionnante séance d'inauguration au Capitole, ces séances de travail où fut élaboré un programme déjà bien complet de l'activité de notre Union et où furent discutées des questions bien nombreuses. Nous nous rappelons avec bonheur ces visites d'usines grandioses et ces excursions à Terni, Pérouse, Assise, Florence, etc.

En 1928 l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique tint son recond Congrès à Paris et 423 congressistes, venus de dix-sept pays différents, reçurent dans la ville « lumière » le plus aimable accueil et participèrent à des travaux qui donnèrent à notre organisme un rayonnement mondial.

Une délégation de l'Union fut reçue par M. le Président de la République. Le Conseil municipal de Paris invita le

Congrès à l'Hôtel de Ville. De nombreuses réceptions furent offertes par les sociétés françaises de production et de distribution d'énergie électrique et, enfin, une magnifique excursion dans le centre de la France et dans les Pyrénées nous permit d'apprécier l'effort énorme de nos amis du sud dans le domaine de la production de l'énergie électrique tant thermique qu'hydraulique et dans le domaine de la distribution qu'ils s'efforcent d'étendre à toutes les communes de ce grand pays.

Et il fut décidé de tenir le Congrès de 1930 à Bruxelles et d'élever un Belge à la présidence de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, honneur que je ressens d'une manière toute particulière. Mais j'y vois surtout un hommage rendu à mon pays et tout d'abord, un hommage à son Roi, grand soldat, chef d'Etat clairvoyant qui apporte à son peuple un exemple constant de vaillance, de loyauté et d'honneur.

Je répondrai certainement à votre vœu, Mesdames et Messieurs, en exprimant, au nom de notre Union et au nom de tous les participants à ce Congrès, nos sentiments de très

Photographie prise pendant le discours de M. Lechien à la séance inaugurale du 4 septembre. De gauche à droite : M. Ulrich, président du Syndicat français des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique; M Brylinski, délégué général de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique; M. Theunis, ancien premier ministre de Belgique; M. Lechien, président de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique; M van Caeneghem, ministre des Travaux publics de Belgique; M. Motta, député au Parlement d'Italie, président de l'Unione nazionale fascista Industrie elettriche; M. Lippens, ministre des Transports de Belgique; M. Duquesne, président de l'Union des Exploitations électriques de Belgique; M. Uytborck, directeur général de l'Union des Exploitations électriques en Belgique.

vive et très respectueuse gratitude à Sa Majesté le Roi des Belges qui a bien voulu, par une faveur dont nous apprécions tout le prix, accorder à notre Congrès son très haut patronage, marquant ainsi tout l'intérêt qu'il porte à nos travaux qui font progresser la technique de l'industrie électrique indispensable au plus haut point à la vie des peuples et des nations.

Et vous tiendrez certainement à associer à cet hommage Sa Majesté la Reine dont la noble figure illumine la Belgique tout entière et qui s'associe à toutes ses peines, à toutes ses joies, à tous ses efforts.

Messieurs, en choisissant Bruxelles comme siège du troisième Congrès, vous avez eu la pensée de participer aux fêtes du Centenaire de notre indépendance et de témoigner votre admiration pour l'essor économique, industriel et colonial de la Belgique, essor qui a pu se développer, grâce à la sagesse de notre Gouvernement d'ordre, d'union et de progrès social qui apporte à notre industrie un appui puissant. Cet appui nous est encore témoigné aujourd'hui par M. van Caeneghem, ministre des Travaux publics en Belgique, qui, conformément à une tradition, dont nous sommes fiers, que M. Giuriati avait créée à Rome et que M. Tardieu a sui-

vie à Paris, a accepté de présider cette séance solennelle d'inauguration du troisième Congrès de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique.

Si nous tenoms à exprimer toute notre reconnaissante gratitude à M. le ministre van Caeneghem d'avoir accepté cette présidence, nous devous cependant ajouter que son geste ne nous étonne nullement. En Belgique, le département des Travaux publics étudie avec la plus grande attention toutes les manifestations d'activité des producteurs et distributeurs d'énergie électrique. Avec le concours de ses fonctionnaires et ingénieurs dévoués, M. van Caeneghem, ingénieur lui-même, a su prendre une série de mesures qui ont permis la réalisation rapide et efficace d'un programme complet de distribution d'électricité dans notre pays.

C'est également un devoir pour moi d'exprimer notre reconnaissance à : MM. Jaspar, premier ministre, ministre des Colonies; Baels, ministre de l'Intérieur, de l'Hygiène et de l'Agriculture; Heyman, ministre de l'Industrie, du Travail et de la Prévoyance sociale; Lippens, ministre des Transports; Max, ministre d'Etat, bourgmestre de la Ville de Bruxelles; Theunis, ministre d'Etat; Nens, gouverneur de la Province de Brabant; Jadot, gouverneur de la Société générale de Belgique; Barbanson, président de la Compagnie générale d'Entreprises électriques et industrielles; le baron Carton de Wiart, directeur à la Société générale de Belgique; le baron Empain; le baron Louis Empain; Galopin, directeur à la Société générale de Belgique; Heineman, administrateur délégué à la Société financière de Transports et d'Entreprises industrielles (Sofina); Colson, président de la Société belge des Ingénieurs et des Industriels, qui ont consenti à former notre Comité d'Honneur.

La liste des noms de ces hautes et éminentes personnalités montre de quels appuis notre industrie dispose en Belgique.

Il me tarde enfin de dire aux délégués des pays étrangers qui ont répondu à notre appel combien nous sommes heureux de les voir si nombreux à cette séance solennelle.

Leur présence ici témoigne de leur sincère désir de voir progresser l'étude des questions si importantes qui figurent à l'ordre du jour des séances techniques. Ils espèrent, à juste titre, tirer profit des discussions que suscitent les intéressants et nombreux rapports déposés pour notre troisième Congrès et des conversations qu'ils auront avec leurs collègues étrangers.

Je forme des vœux pour que leur espoir ne soit pas déçu et je leur exprime toute notre reconnaissance pour avoir bien voulu contribuer au succès de notre troisième Congrès en nous apportant un concours si précieux au point de vue technique et scientifique.

Quelle satisfaction est la nôtre de constater que des dames si nombreuses ont bien voulu se joindre aux Congressistes. Qu'elles me permettent de les saluer très respectueusement, de leur dire qu'elles seront le charme de nos fêtes et de nos excursions et aussi de les remercier, car elles rendront notre Union plus effective, en mettant à son service leur exquise sensibilité. En les accueillant en Belgique, notre Comité des Dames s'efforcera de leur présenter notre pays sous ses aspects les plus agréables et les plus susceptibles de les intéresser.

Le nombre d'inscriptions à cette session atteint le chiffre de 560, dépassant sensiblement celui des sessions précédentes de Rome et de Paris. Est-ce à dire que nous saurons marcher sur les traces de nos prédécesseurs, de nos amis et collègues italiens et français qui ont donné tant d'attrait et un si grand intérêt technique à nos réunions antérieures. Le succès de ces deux sessions est sans doute pour beaucoup dans l'enthousiasme que nos collègues étrangers ont mis à assister au présent Congrès. Ils savent que Bruxelles n'a pas les possibilités de Rome et de Paris; que la Belgique n'a pas les ressources industrielles, les attraits touristiques, les trésors historiques de l'Italie ou de la France. Nous n'avons ni les Alpes, ni les Apennins, ni les Pyrénées, ni Rome, ni Carcassonne. Mais nous avons le profond désir de vous rendre le séjour en Belgique agréable et intéressant; nos sentiments d'amitié ne se mesurent pas à l'étendue de notre territoire et c'est de tout cœur que nous disons, Mesdames et Messieurs : Bienvenue, bienvenue à tous dans notre petite Belgique, toujours hospitalière et heureuse d'accueillir ses amis.

Grâce soit rendue ici aux grandes sociétés et trusts qui ont bien voulu permettre d'inscrire à notre programme des visites industrielles au cours desquelles il vous sera donné de constater que les installations électriques belges sont à la hauteur des derniers progrès de la science et de la technique et permettent, dans des conditions excellentes, l'alimentation d'une énorme clientèle d'éclairage et de force motrice.

Dans l'admirable discours que mon éminent prédécesseur, M. Ponti, a prononcé à la séance d'ouverture de notre Congrès, il a rappelé la parole du Dante : « le rêve se transforme en idées ».

Au début de ce siècle, les distributeurs ont fait un rêve, celui de couvrir la Belgique d'un réseau électrique. Leur rêve a suscité des idées; des idées, ils sont passés à la réalisation. Leur rêve est réalisé aujourd'hui.

Notre pays sera, à la fin de la présente année, entièrement doté, dans toutes ses communes, d'une distribution d'énergie électrique et ce, malgré des obstacles nombreux, malgré les difficultés de la guerre et de l'après-guerre, malgré la dévaluation de la monnaie, malgré des tarifs de vente qui sont parmi les plus bas du monde entier. C'est notre façon à nous, électriciens, de fêter le Centenaire de notre indépendance.

Mais tous les artisans de cette œuvre savent qu'elle n'est pas parfaite et que chaque jour elle doit être complétée. Aussi sont-ils très heureux de puiser dans les congrès internationaux les renseignements qu'ils ne manquent pas d'y trouver. Et parmi toutes les questions qui les harcèlent, en est-il de plus importantes à étudier que celles qui touchent à une meilleure utilisation du matériel des usines génératrices et des réseaux, à des économies d'exploitation, à l'augmentation de la sécurité des personnes et des choses et à la permanence du service?

Conservons donc jalousement les prérogatives de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique et veillons avec soin au bon rendement technique de nos organisations et de nos sessions en assurant ainsi la pérennité de notre institution et son développement dans l'avenir.

Messieurs, en votre nom à tous, je demande respectueusement à M. van Caeneghem, ministre des Travaux publics en Belgique, de déclarer ouvert le troisième Congrès de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique.

Mettons-nous, mes chers collègues et amis, à l'œuvre dès demain; notre tâche, on l'a proclamé déjà, est parmi les plus belles des tâches industrielles. La prospérité d'un pays dépend de la perfection du fonctionnement de ses installations électriques, de leur développement et de leur péné-

tration dans toutes les classes de la société, dans tous les domaines : industriel, commercial, agricole.

En mettant à la disposition de tous, aux meilleures conditions, l'énergie électrique, vous travaillez à une œuvre d'intérêt national et quelle n'est pas chaque jour votre joie de constater que, grâce à votre diligence et à votre science, vous avez pu augmenter le mieux-être des populations, les possibilités de votre pays et, situation enviable entre toutes, que l'accroissement de votre activité, l'augmentation de la puissance de vos usines génératrices, de vos sous-stations et de vos réseaux, marche toujours de pair avec le développement des forces vives des nations dans la paix, l'ordre et le progrès.

Discours de M. van Caeneghem

Ministre des Travaux publics de Belgique.

Excellence, Monsieur le Président,
Mesdames et Messieurs,

Devant une réunion de techniciens dont la réputation n'est plus à faire, il ne m'appartient pas de vous décrire le rôle que doivent jouer dans un pays prospère les ouvrages et installations assurant la distribution publique de l'électricité.

Il me suffira de rappeler, et nul n'en doute plus aujourd'hui, que ce rôle est de tout premier plan et que les pouvoirs publics ont partout et toujours le devoir de veiller à la parfaite organisation de ce service public. L'électricité, cette source de vie nouvelle, comme vient de la définir votre président, doit continuer à se diffuser dans tous les milieux et à y être l'objet d'applications diverses dont le nombre ne cesse pas de s'accroître.

Qu'il s'agisse, en effet, d'industrie, d'agriculture, de vie familiale, de travail à domicile, d'urbanisme, de télécommunications, de manutention de marchandises, de transports en commun, toujours l'emploi de l'électricité se trouve être la source d'une production accrue, d'un effort humain diminué, d'un rendement et d'une sécurité plus grands.

Se servir d'électricité constitue toujours un progrès, voire même un aboutissement, puisqu'aucun autre agent plus souple, plus sûr, plus économique n'a été mis par la science à la disposition de l'homme. Chaque jour davantage, l'électricité conditionne en l'améliorant la vie sociale et la vie économique.

Le Gouvernement belge, je le représente ici aujourd'hui, suit avec une attention soutenue les progrès et le développement rapides de l'industrie belge de la distribution publique de l'électricité et il attache un grand prix aux études et travaux qui peuvent conduire à en perfectionner et à en étendre l'exercice.

Ces constatations faites, vous ne vous étonnerez pas, Mesdames et Messieurs, que le Gouvernement belge ait désiré vous assurer son appui et son concours en me chargeant de présider la séance solennelle d'ouverture de votre Congrès.

Au nom du Gouvernement, je remercie l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique d'avoir bien voulu choisir Bruxelles comme siège de vos assises internationales; je salue tous les congressistes dont un très grand nombre a affronté les fatigues d'un long voyage pour se trouver aujourd'hui parmi nous.

Soyez les bienvenus en Belgique, terre hospitalière. Si, surtout en cette année jubilaire, elle accueille avec joie tous les étrangers, elle entend classer parmi ses hôtes d'élite ceux qui, en techniciens avertis, viennent, dans les congrès internationaux, lui apporter non seulement le meilleur de leur intellectualité, mais aussi les ressources si précieuses de leur savoir si étendu et de leur grande expérience.

Les sceptiques seuls se demandent quels peuvent être les résultats pratiques des réunions de ce genre. Que peut-on espérer, disent-ils, du rapprochement de nombreux rapports, dont la longueur exclut toute discussion approfondie?

De même que l'on ne peut plus guère mettre en doute aujourd'hui, surtout après l'expérience des douze dernières années, l'utilité des groupements industriels nationaux, il est avéré que des congrès internationaux, comme les vôtres, ayant un champ d'action bien limité, doivent conduire à des résultats heureux.

Vous avez inscrit dans vos statuts cette règle de bonne organisation, qu'à la base de la participation étrangère doivent se trouver les groupements nationaux. Excellente mesure, s'il en fut. Nul doute qu'avec de telles fondations, vos constructions soient remarquablement utiles au développement de votre activité et à la prospérité de vos pays.

A en juger, du reste, par les résultats remarquables de vos sessions de Rome et de Paris, je puis, sans aucun risque, augurer du succès technique de la réunion de Bruxelles.

J'ai pris connaissance, avec le plus grand intérêt, des diverses questions inscrites à votre programme. Grâce au concours de nombreux fonctionnaires qui assisteront à vos séances techniques, le Gouvernement belge tirera lui aussi profit des enseignements qui se dégageront de vos travaux et de vos résolutions. J'ai l'obligation de vous en exprimer à l'avance toute la gratitude.

Mesdames et Messieurs, au nom du Gouvernement belge, je déclare ouvert le troisième Congrès de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique.

Discours de M. E. Genissieu

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, chef du Service central des Distributions d'Energie au Ministère des Travaux publics, représentant officiel du Gouvernement français au Congrès.

Monsieur le Ministre,
Mesdames, Messieurs,

C'est à un représentant de l'Administration française que l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique a confié la mission agréable de remercier ses hôtes de ce soir. Ce n'est certes pas à l'importance du rôle assumé par l'Etat français dans la production ni la distribution de l'énergie que cet honneur est dû. On compterait sur les doigts des deux mains les sociétés de production et de transmission d'énergie à l'activité desquelles il participe, et il ne s'occupe d'aucune affaire de distribution. A une époque où il se fait si volontiers fabricant ou marchand,

il est remarquable qu'il ait su résister à la tentation de produire ou de vendre lui aussi des kilowatts-heures. Il a dû se dire que ceux qui s'étaient chargés de cette partie si importante de l'activité nationale remplissaient leur tâche de façon suffisante. Ainsi, l'Etat a préféré s'en tenir à son rôle naturel de surveillance et de coordination, heureux de laisser à l'initiative individuelle le soin d'entreprendre et de réaliser. De là des relations confiantes et agréables entre fonctionnaires et distributeurs.

Il peut bien y avoir quelques poteaux malhabilement plantés sur des propriétés interdites. Il peut bien y avoir quelques discussions avec des abonnés ou avec des maires ; comment éviter dans la vie des querelles de mur mitoyen ou des histoires de voisins? Mais sur le point vital, sur la grosse question des tarifs maxima de vente, l'entente n'est pas si malaisée qu'on pourrait le croire. Ceux qui ont pour mission de défendre le public chercheront, c'est leur devoir, à faire baisser les prix le plus possible. Ils trouveront vite la limite. Ils savent bien qu'avec ses recettes, l'exploitant doit faire face, non seulement aux charges d'exploitation, mais aussi aux énormes, aux incessants investissements qu'exigent l'extension de la clientèle, le développement de la consommation, le perfectionnement du service. Quant à l'exploitant, s'il rêve de vendre son courant le plus cher possible, la réalité lui impose une limite supérieure. Le bon client, c'est le fabricant, mais celui-là sait bien, s'il n'est pas content du prix de l'énergie, installer chez lui une génératrice à vapeur, un moteur Diesel, un moteur à essence. La nature des choses laisse au distributeur une bien petite marge pour fixer ses prix. C'est sur quelques centimes qu'il se disputera avec l'Administration. On pourra se mettre d'accord.

Parfois même, c'est le cas des campagnes où chaque client demande une très longue ligne et consomme très peu, le prix qu'on peut lui fixer est insuffisant à payer les charges d'exploitation. Il faut bien que la collectivité publique supporte une partie de la dépense. Mais alors, presque toujours, elle laisse à l'industrie la gestion de l'affaire, et elle sait se contenter d'une redevance contractuelle.

A la faveur de ces bonnes relations, l'Etat a su profiter de la compétence et de l'expérience des industriels. La guerre, qui bouleverse tout, a assis d'éminents industriels dans des fauteuils directoriaux ; elle en a même introduit dans le sanctuaire, au Conseil d'Etat.

Mais le temps de paix a rendu permanente cette collaboration.

A notre Comité d'Electricité siègent côte à côte fonctionnaires et distributeurs; c'est là ce que notre collègue, M. Niesz, appelle une assemblée d'ingénieurs : il n'y a pas d'avocats. Qu'il s'agisse de technique, ou d'une de ces questions plus délicates que posent les relations avec les abonnés, les services publics, le personnel, on voit, s'il n'y a pas unanimité, de nombreuses mains se lever pour ou contre sur les bancs des industriels comme sur ceux des fonctionnaires.

Habituée à travailler avec eux, c'est donc sans frayeur que l'Administration de mon pays a vu, il y a déjà longtemps, les électriciens se réunir en une association syndicale. On l'a rappelé hier, dans ce métier, il n'y a ni concurrence, ni collusion. Chacun travaille dans sa zone ; l'intérêt public ne peut souffrir d'une coalition.

L'expérience montre que le contact entre professionnels éclaire chacun sur ses vrais intérêts, élargit les vues de tous, réagit contre les excès possibles.

C'est aussi ce contact qui permet à chacun de se rendre compte de ses possibilités et des besoins de ses voisins. L'association a facilité l'interconnexion.

Ce qui se passe sur le domaine national peut se passer aussi sur le domaine international. Là aussi, il est utile d'échanger des vues, de se tenir au courant des progrès accomplis. Là aussi, on arrivera à l'interconnexion. Ce n'est pas de tracés à priori, dessinés sur la carte d'Europe, que sortira le futur réseau électrique continental. Ce sera petit à petit, de la réalité concrète, au fur et à mesure des besoins, sur le rythme des compréhensions mutuelles, chaque réussite déclenchant de nouvelles tentatives, chaque jour voyant s'accroître le rôle de votre Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique.

Mais me voici un peu loin de mon début. Permettez-moi de vous dire qu'en choisissant un fonctionnaire pour parler en son nom, votre Union lui a fait un grand honneur et aussi un grand plaisir. C'est donc pour vous, Messieurs, que j'adressse vos remerciements à la Société de Traction et d'Electricité qui nous reçoit ce soir. Qui est mieux qualifié qu'elle pour recevoir une association internationale puisqu'elle étend son activité féconde sur tant de pays? Qui, mieux qu'elle, peut susciter en nous l'espoir des futurs développements industriels, puisqu'elle contribue si heureusement aux magnifiques progrès de la belle colonie belge? Qui, enfin, peut mieux représenter pour nous la Belgique, ce grand pays, plus grand que ses frontières, qui a su imposer au monde entier le prestige de son activité, de son courage, de sa valeur morale?

Mesdames et Messieurs, je vous demande de lever vos verres avec moi à nos hôtes de ce soir, à la Société de Traction et d'Electricité, à nos hôtes de cette quinzaine, les Belges, à leur pays, cher à nos cœurs, à son avenir immortel, digne de son inoubliable passé.

Echange de télégrammes

Voici le texte du télégramme adressé à Sa Majesté le Roi des Belges et celui de la réponse de Sa Majesté :

Les membres de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, réunis à l'occasion de l'ouverture solennelle de leur troisième congrès, acclament Sa Majesté le Roi des Belges, haut protecteur de l'industrie électrique. Ils Lui expriment leurs sentiments de reconnaissance pour le haut patronage qu'il a daigné accorder à ce congrès et forment des vœux respectueux et sincères pour le bonheur de Leurs Majestés le Roi et la Reine, et pour la grandeur de la dynastie.

Le 4 septembre 1930.

ETAT,

Aux membres de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique,

154, rue Royale, Bruxelles.

Déposé à Bruxelles, le 5 septembre 1930, à 10 h 30, n° 4509.

Le Roi a été particulièrement sensible au contenu de votre gracieux message. Sa Majesté très touchée aussi de votre pensée pour la Reine m'a chargé de vous transmettre à tous ses sincères remerciements.

Chef du Cabinet du Roi.

Résolution relative aux prix de revient et de vente de l'énergie électrique

Nous reproduisons ci-dessous, sans tarder, étant donné son importance, une résolution de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique prise le 10 septembre 1930.

L'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, frappée de la fréquence de certaines attaques retentissantes contre les entreprises privées de distribution d'électricité, renouvelées encore récemment à la session de Berlin de la Conférence mondiale de l'Energie à propos des entreprises de distribution des Etats-Unis d'Amérique, constate, sans beaucoup d'étonnement, que l'industrie qu'elle représente, tout en partageant avec d'autres branches industrielles importantes (telles que, par exemple, les chemins de fer, les téléphones, etc.) le caractère d'une industrie chargée d'un service public, jouit cependant du privilège peu enviable d'exciter plus particulièrement dans certains milieux des critiques dont la passion n'est pas exclue et qui se manifestent par une abondance de conseils, de jugements et de reproches parfois sévères que tous ceux qui croient représenter l'opinion publique se confèrent à eux-mêmes le droit de lui donner et la compétence nécessaire pour le faire.

Tout en trouvant l'explication de cet empressement à critiquer spécialement l'industrie électrique par la relative jeunesse de cette dernière et par son apparente simplicité, rappelle aux auteurs de ces critiques, à quelque pays qu'ils appartiennent, que l'un des principes les plus incontestables et les plus élémentaires qu'il conviendrait d'appliquer en pareil cas est le suivant :

Il est absolument impossible de discuter sérieusement la question des prix de revient du produit industriel que constitue l'énergie électrique sans tenir compte des frais représentés par les intérêts dus aux capitaux engagés ou plus exactement immobilisés dans les installations et surtout par le vieillissement de celles-ci, lequel se présente d'autant plus vite que le développement de la consommation s'accentue lui-même plus rapidement ; il n'est possible d'appprécier approximativement le poids dont les amortissements pèsent sur les entreprises que si l'on tient compte du fait que de nombreuses usines génératrices thermiques ont dû, de toute nécessité, être renouvelées de fond en comble à diverses reprises, dans un délai de trente ans et que les progrès scientifiques réalisés dans l'aménagement et l'utilisation des ressources hydrauliques amènent à des résultats analogues ; enfin, des transformations importantes sont également indispensables dans les réseaux de distribution en raison de l'impossibilité absolue de prévoir à l'avance ce que sera exactement la demande d'énergie des consommateurs, tant au point de vue du degré de saturation auquel elle arrivera et du délai dans lequel elle y parviendra, que du point de vue particulièrement important de la répartition de cette demande d'énergie entre les consommateurs des diverses catégories ou placés sur les différents points du réseau ; il tombe pourtant sous le sens qu'il est économiquement nécessaire de proportionner aussi rigoureusement que possible l'importance des réseaux à l'importance de la consommation.

L'Union internationale rappelle encore qu'il est impossible de discuter la question des prix de vente du courant aux usagers si l'on oublie que, pour assurer à l'entreprise de distribution le revenu qui lui est nécessaire pour vivre et pour favoriser en même temps le développement des applications de l'électricité, il est indispensable d'adopter des tarifs différents suivant les catégories variées à l'infini des besoins à satisfaire. C'est d'ailleurs ce qu'ont fait de tout temps et de toute leur création d'autres industries chargées de services publics et, notamment, les chemins de fer.

Par application de ce principe, les prix doivent varier, non seulement d'après la puissance absorbée par chaque consommateur, parce que le coût unitaire des immobilisations varie en sens inverse de la puissance, mais encore suivant l'intensité de son emploi, c'est-à-dire la durée de l'utilisation de cette puissance, parce que le prix de revient du kilowatt-heure est, pour une part importante, inversement proportionnel à cette durée. C'est par ces très simples considérations que s'explique la grande variété des prix payés par différents consommateurs sur le même réseau ; il est ainsi de toute évidence, pour tout esprit impartial, que la prétendue injustice de l'inégalité des prix payés pour la fourniture d'un kilowatt-heure correspond, en réalité, à une nécessité impérieuse de pure et simple justice. En conséquence, il est impossible, d'après le plus élémentaire bon sens, de comparer le prix de revient moyen d'un kilowatt-heure avec l'un des prix de vente pratiqués pour un kilowatt-heure en vertu des tarifs établis pour telle ou telle catégorie de consommateurs ; la comparaison de ce prix de revient moyen, qu'il faudrait d'ailleurs préalablement déterminer exactement, avec le prix de vente moyen, est seule conforme à la logique.

L'Union internationale affirme enfin avec force que l'industrie qu'elle a l'honneur de représenter a pleine conscience d'avoir réussi, au moins aussi bien que les autres industries qui assurent l'exécution de services publics (gaz, eau, téléphone, etc.), à remplir la tâche qui lui était dévolue et à constituer une véritable force promotrice du progrès et du bien-être toujours plus accentué des populations qu'elle dessert, tout en diminuant d'une façon ininterrompue et dans une mesure fort notable depuis le commencement du siècle les prix de vente du produit qu'elle fournit à ses clients.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Sur l'emploi des moteurs asynchrones en court-circuit

Le point essentiel qui fait l'objet de cette étude est la question du démarrage des moteurs asynchrones en court-circuit. M. Le Monnier compare, à ce point de vue d'abord, puis à celui du rendement et du facteur de puissance, le moteur Boucherot à double cage et le moteur en court-circuit simple à faible coefficient de dispersion, mis au point par la Compagnie générale électrique de Nancy; les diverses conditions de démarrage avec différents procédés de démarrage, en étoile-triangle, avec autotransformateur, sont examinées au cours de cet article, notamment pour ces deux types de moteurs. De cette étude ressortent les avantages du moteur simple en court-circuit, au moins aux divers points de vue mentionnés ci-dessus et, de plus, au point de vue de la construction même, ainsi que le fait remarquer l'auteur dans ses conclusions.

Malgré les avantages considérables que présentent les moteurs asynchrones polyphasés en court-circuit, que l'on désigne souvent sous le nom de moteurs à cage d'écureuil, quoique cette appellation ne s'applique qu'à une catégorie particulière de ce genre de machines, leur usage en est resté jusqu'à présent très limité en France, en raison de la résistance que les distributeurs ont pendant longtemps opposée à leur emploi.

Si ces moteurs ont des qualités de robustesse, de facilité d'entretien, de rendement et même de facteur de puissance qui devraient les faire préférer aux moteurs à rotor bobiné munis de bagues, il faut reconnaître, par contre, que leur démarrage est moins aisé que celui de ces derniers moteurs. Lors du démarrage direct sous pleine tension, ils absorbent, en général, un courant très élevé ; si l'on a recours à l'artifice du démarrage en étoile-triangle ou du démarrage par au totransformateur, qui est analogue au précédent, mais présente l'avantage de possibilités de réglage, on réduit bien l'appel de courant, mais on réduit également le couple de démarrage sensiblement dans les mêmes proportions que le courant.

Lors d'une enquête faite, en 1922, par le Syndicat des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique sur ce sujet, on avait été amené à reconnaître que pour des moteurs de 1 à 10 ch de polarités courantes (2, 4, 6 et 8 pôles), à 50 p:s, l'appel de courant au démarrage atteignait en moyenne 6 fois le courant normal pour un couple égal à 1,2 fois le couple normal environ, le couple maximum du moteur atteignant 1,8 fois le couple normal.

Le démarrage d'un moteur en court-circuit provoque alors inévitablement, dans son voisinage, sur le réseau qui l'alimente, une chute de tension momentanée se traduisant par des variations fort désagréables de l'intensité lumineuse des lampes. L'attitude d'opposition des distributeurs d'énergie électrique était donc pleinement justifiée, en raison du rôle d'arbitre qui leur échoit du fait qu'ils ont à assurer un service public et qu'il leur faut fixer la limite entre les libertés des uns à recourir aux moteurs qu'ils pourraient considérer comme les meilleurs et les droits des autres à jouir d'un éclairage convenable.

On peut, il est vrai, envisager une solution qui consisterait à disposer de deux réseaux juxtaposés, l'un pour la lumière, l'autre pour la force motrice, mais c'est là une solution onéreuse, qui, si elle peut se justifier dans le cas de réseaux présentant de grandes densités de consommation, ne peut être généralisée.

Aussi, les constructeurs se sont-ils appliqués, pour échapper aux restrictions que comportent les règles françaises sur les installations à basse tension, à perfectionner les procédés de démarrage des moteurs asynchrones en court-circuit.

I. **Démarrage du moteur Boucherot à double cage**. — La grande majorité des constructeurs, tant en France qu'à l'étranger, semble avoir, au cours de ces dernières années, vu la solution du problème dans l'emploi des moteurs à double cage de M. Boucherot. On sait que ces moteurs ont pour caractéristique d'avoir un appel de courant au démarrage très réduit sous pleine tension (3 à 3,3 fois le courant normal au lieu de 6), avec un couple relativement élevé (1,5 à 1,8 fois le couple normal) au départ. Cette réduction de l'appel de courant y est obtenue en reportant à la vitesse nulle le couple maximum du moteur. On va voir que cette dernière condition contrarie singulièrement l'emploi de ces moteurs.

Prenons, par exemple, le cas très répandu du moteur de 3 ch à 4 pôles. Il rentre dans la catégorie, prévue à l'article 100 du fascicule 137 de l'Union des Syndicats de l'Electricité (édition 1929), des moteurs de puissance utile comprise entre 1,5 et 5 kw (soit 2 à 7 ch.). Cette nouvelle réglementation (1) impose, très juste-

(1) Il convient de signaler que cette réglementation a reçu une consécration officielle, le ministre des Travaux publics, dans une circulaire en date du 6 novembre 1928 aux préfets et aux ingénieurs en chef du Contrôle, ayant exprimé le souhait que dans un but d'unification on s'y conformât le plus possible. Elle a, d'autre part, été approuvée et homologuée le 28 février 1930 par la Commission permanente de Standardisation.

ment d'ailleurs, que le rapport de la puissance apparente aux bornes, en kilovolts-ampères, lors du démarrage, à la puissance utile sur l'arbre du moteur, en kilowatts, ne dépasse pas 3,7. Précédemment on envisageait seulement le rapport de la puissance apparente aux bornes lors du démarrage à la puissance apparente normale aux bornes du moteur. Il suffisait alors de donner la préférence à un mauvais moteur ayant un rendement et un facteur de puissance faibles et, par suite, un courant normal élevé pour améliorer cette caractéristique de démarrage. C'était, en quelque sorte, une prime à la mauvaise construction que la nouvelle réglementation a heureusement supprimée.

La puissance utile de ce moteur de 3 ch est égale à 2,2 kw. La puissance apparente aux bornes en régime normal, si l'on admet pour un moteur à double cage de cette puissance les valeurs vraisemblables de 81 pour 100 pour le rendement et 0,80 pour le facteur de puissance, est égale à

$$\frac{2,2}{0,81 \times 0,80} = 3,4 \text{ kv-a.}$$

Si l'on admet, d'autre part, que l'appel de courant au démarrage est égal à 3 fois seulement le courant normal (valeur très optimiste), la puissance apparente aux bornes lors du démarrage est alors égale à $3 \times 3,4 = 10,2$ kv-a et le rapport caractéristique du démarrage atteint $\frac{10.2}{2,2} = 4,65$, dépassant largement, dans les conditions les plus favorables, la valeur limite de 3,7.

Les règles françaises ne permettent donc pas l'emploi d'un moteur à double cage avec démarrage direct sous pleine tension pour un moteur de 3 ch. On est obligé de recourir, déjà pour un moteur de cette puissance, au démarrage en deux temps, en étoile-triangle. Il suffit alors de se reporter aux courbes caractéristiques des couples de ces moteurs et des courants absorbés en fonction de la vitesse et de se rappeler, en particulier, que le couple maximum est reporté à la vitesse nulle, pour constater qu'il est impossible de réaliser les conditions de démarrage généralement indiquées par les constructeurs : *Si, pendant la période de démarrage, la machine à entraîner a un couple résistant ne dépassant pas la moitié* (1) *du couple normal, on peut démarrer le moteur, avec couplage étoile-triangle, sans que l'appel de courant dépasse le courant normal.*

Si l'on a conservé l'illusion que ces conditions pouvaient être remplies, c'est parce que l'on a omis de mesurer les couples et lorsque l'on a fait, par exemple, des relevés oscillographiques, on s'est contenté d'observer les courants absorbés sans se préoccuper de savoir à quels couples correspondaient ces courants, en particulier lors du passage du couplage en étoile au couplage en triangle.

Si l'on trace, ainsi qu'on l'a fait sur la figure 1, les courbes des couples et des courants absorbés dans le fonctionnement avec couplage en étoile et dans le fonctionnement avec couplage en triangle, en fonction de la vitesse, on constate que l'on peut bien, au départ, réaliser avec le couplage en étoile un couple égal à la moitié du couple normal avec un courant égal au courant normal, mais ce couple étant un maximum, le moteur ne peut prendre de vitesse que si le couple résistant est inférieur à la moitié du couple normal et le passage du couplage en étoile au couplage en triangle ne pourra avoir lieu, avec un appel de courant ne dépassant pas le courant normal, que si le couple résistant ne dépasse pas le tiers et non pas la moitié du couple normal. Le passage aura lieu alors à la vitesse normale de fonctionnement du moteur en pleine charge.

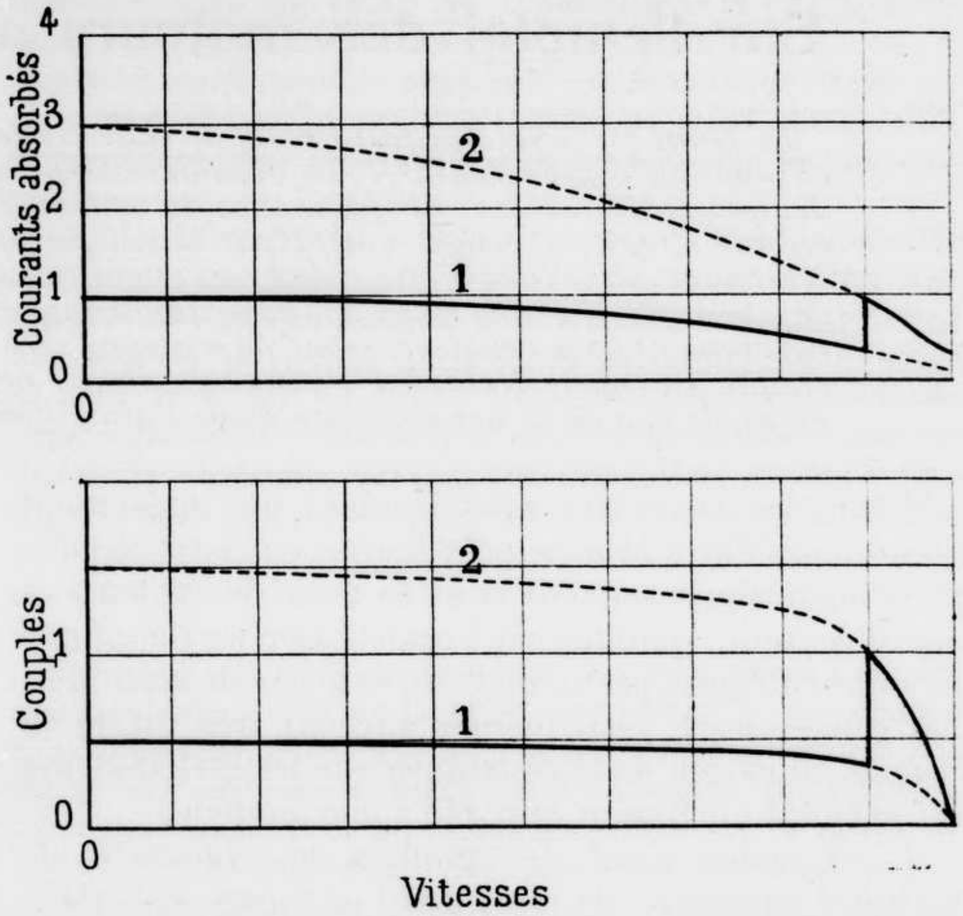


Fig. 1. — Courbes des couples sur l'arbre d'un moteur asynchrone tripbasé en court-circuit à double cage et des courants absorbés sous tension et fréquence constantes en fonction de la vitesse : 1, en étoile; 2, en triangle.

Si le couple résistant est supérieur à la valeur indiquée ci-dessus, le moteur n'atteindra pas une vitesse suffisante et lors du passage au couplage en triangle, il exigera un appel de courant dépassant largement le courant normal et susceptible même d'atteindre le double du courant normal, pour un couple inférieur aux 4/10 du couple normal.

Ainsi qu'on l'a déjà indiqué précédemment (1), il y a

(1) On a même parlé parfois de couples égaux aux trois quarts du couple normal pendant la période de démarrage, mais ce ne sont là que des exagérations de style dont nous ne tiendrons pas compte.

(1) *Revue générale de l'Electricité,* 23 novembre 1929, t. XXVI, p. 815-816 et *Bulletin de la Société française des Electriciens*, mars 1930, t. X (4e série), p. 232.

incompatibilité flagrante entre l'emploi du moteur à double cage et l'usage du démarrage en étoile-triangle.

II. **Démarrage du moteur en court-circuit simple.** — Si nous envisageons, par contre, le cas d'un moteur asynchrone en court-circuit simple dont le couple maximum se place à une vitesse égale à 0,6 fois environ la vitesse de synchronisme, on retrouvera, au voisinage de la vitesse normale du moteur à pleine charge, un point de fonctionnement pour lequel le couple sera égal au couple de départ, de sorte que l'on pourra franchir en une seule étape avec un couple constamment supérieur à la valeur initiale et à la valeur finale, un long intervalle de vitesse. Le démarrage direct sous pleine tension de ce moteur sera inadmissible, il est vrai, comme celui du moteur à double cage, mais il se prêtera beaucoup mieux à l'emploi du démarrage en étoile-triangle. Le passage du couplage en étoile au couplage en triangle, se faisant très près de la vitesse normale de fonctionnement, n'exigera, pour une même valeur du couple au passage et au départ, qu'un appel de courant réduit du même ordre de grandeur que l'appel de courant au départ (fig. 2).

L'exploitation des qualités essentielles du moteur

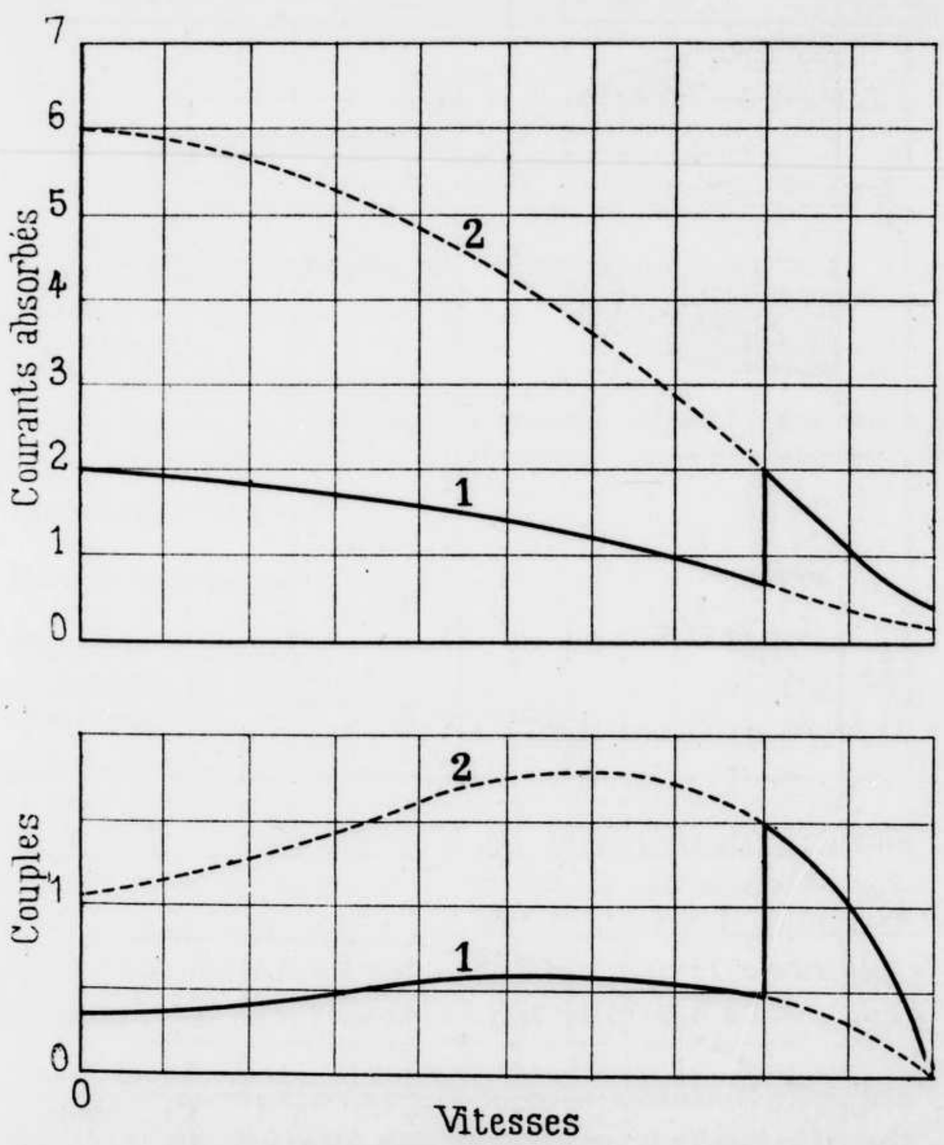


Fig. 2. — Courbes des couples sur l'arbre d'un moteur asynchrone triphasé en court-circuit simple et des courants absorbés sous tension et fréquence constantes en fonction de la vitesse : 1, en étoile; 2, en triangle.

asynchrone permet d'entrevoir une seconde solution du problème du démarrage. C'est à cette seconde solution que certains constructeurs se sont attachés et nous allons voir que l'on peut arriver dans cette voie à des résultats bien supérieurs, à tous points de vue, à ceux que l'on peut obtenir avec le moteur à double cage. Au lieu de s'appliquer à utiliser un moteur médiocre, à grand coefficient de dispersion et, par suite à faible couple maximum, on cherchera, au contraire, à améliorer seulement les qualités de démarrage d'un moteur à faible coefficient de dispersion et, par suite, à couple maximum élevé, facteur de puissance et rendement tout à fait comparables à ceux du moteur ordinaire, c'est-à-dire d'un moteur nettement supérieur au moteur à double cage.

C'est ce résultat qui est atteint, en particulier, avec les moteurs de la Compagnie générale électrique de Nancy, dont la figure 3 donne les courbes des couples et des courants absorbés, dans le fonctionnement avec

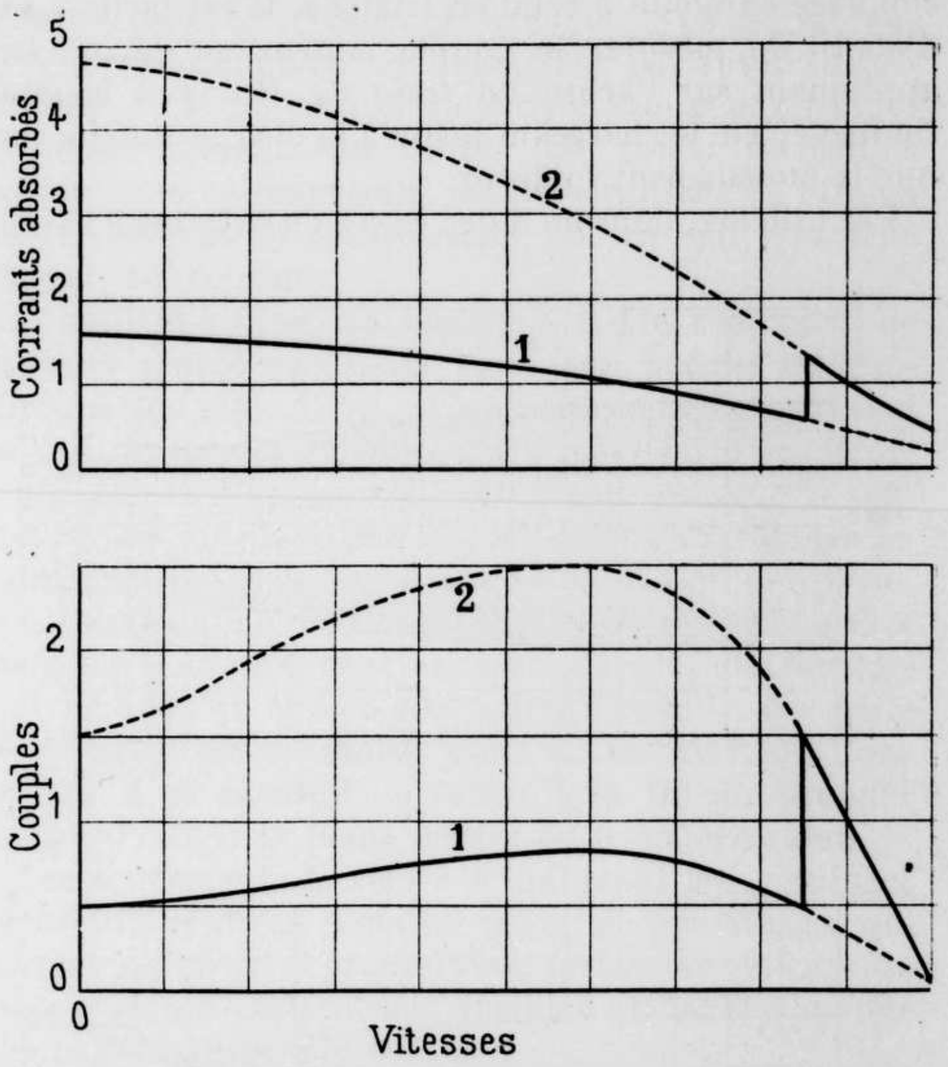


Fig. 3. — Courbes des couples sur l'arbre d'un moteur asynchrone triphasé en court-circuit simple à faible coefficient de dispersion et des courants absorbés sous tension et fréquence constantes en fonction de la vitesse : 1, en étoile; 2, en triangle.

couplage en étoile et dans le fonctionnement avec conplage en triangle, en fonction de la vitesse. On voit que, pour le moteur de 3 ch, qui a été pris comme exemple, le démarrage en deux temps en étoile-triangle peut être effectué avec un couple égal à la moitié du couple normal au départ comme au passage pour des appels de courants égaux au maximum à 1,6 fois le courant normal. Comme, d'autre part, ce moteur a un rendement de 83 pour 100 et un facteur de puissance de 0,85, la puissance apparente aux bornes lors

du démarrage ne dépasse pas : $\frac{1,6 \times 2,2}{0,85 \times 0,83} = 5$ kv-a, de sorte que le rapport caractéristique de démarrage de ce moteur égal à $\frac{5}{2,2} = 2,26$, valeur très inférieure à la limite de 3,7 imposée par les règles de l'Union des Syndicats de l'Electricité.

III. **Vérification expérimentale des caractéristiques de démarrage des moteurs en court-circuit.** — Il est assez délicat de mettre en évidence les propriétés des moteurs pendant la période de démarrage, car la mesure des couples en régime variable présente de grandes difficultés. Nous allons montrer comment on peut y arriver en s'aidant de relevés oscillographiques. Il s'agit surtout de déterminer la valeur des couples au départ et au passage du couplage en étoile à celui en triangle. Il est facile tout d'abord de mesurer le couple moteur au départ en appliquant sur l'arbre un frein de Prony à course limitée et en le chargeant jusqu'à la charge maximum que le moteur peut soulever.

Par ailleurs, dans un autre essai, on entraîne à l'aide de ce moteur, une génératrice à courant continu à excitation séparée que l'on charge sur une résistance fixe convenablement réglée. On peut admettre alors que la tension de la génératrice — au moins dans le voisinage de la tension de régime en fin de démarrage — est proportionnelle à la vitesse et que le couple résistant est également proportionnel à la vitesse, puisque la puissance est proportionnelle au carré de la tension, étant égale à $\left(\frac{U^2}{R}\right)$.

On enregistrera alors à l'oscillographe simultanément : 1° La tension d'alimentation qui donnera simplement une mesure du temps en périodes; 2° le courant absorbé; 3° la tension aux bornes de la génératrice à courant continu.

D'autre part, on déterminera la puissance et la vitesse du moteur en état de régime à la fin du démarrage. Le rapprochement de l'oscillogramme et de ce dernier relevé permettra d'étalonner la courbe des tensions de la génératrice à courant continu, d'une part, en vitesse et, d'autre part, en couples résistants, au moins pour la période finale du démarrage.

On a résumé dans les figures 4 et 5 les oscillogrammes

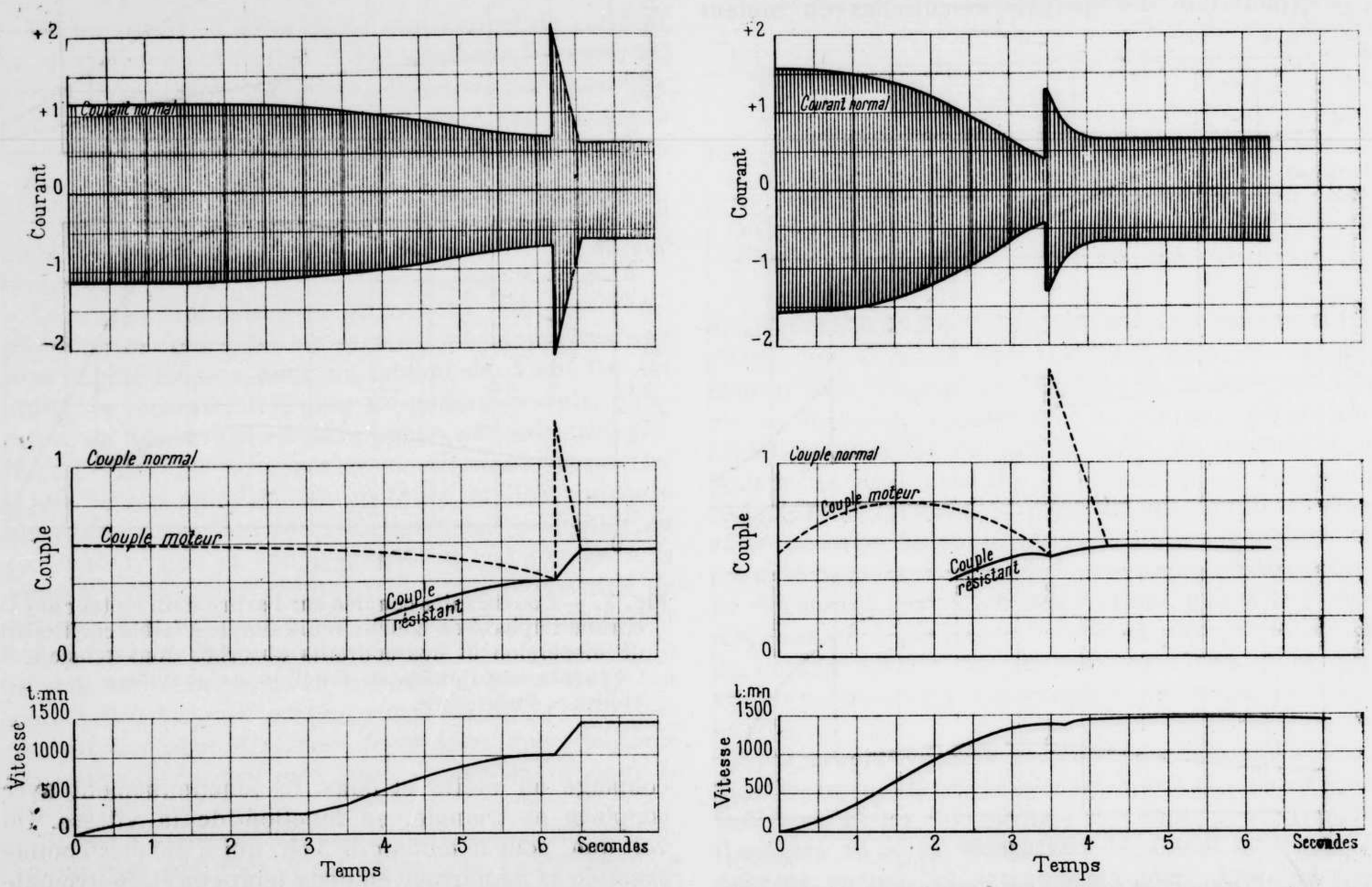


Fig. 4 et 5. — Oscillogrammes du courant de démarrage d'un moteur à double cage (fig. 4) et d'un moteur en court circuit simple G N (fig. 5), tous deux de 3 ch, 4 pôles, 50 p : s; courbes des couples et des vitesses correspondants durant le démarrage.

obtenus dans ces conditions, d'une part, sur un moteur à double cage de 3 ch à 4 pôles et, d'autre part, sur un moteur spécial de même puissance et même polarité, du modèle précédemment décrit, entraînant successi-

vement, de la même façon, la même génératrice (1). On a fait figurer, en outre, en trait ponctué sur le graphique des couples résistants déduits de l'oscillogramme, la valeur des couples moteurs déduits des caractéristiques du moteur. Ces relevés mettent en évidence les propriétés essentielles de ces deux types de moteurs. On voit que le moteur à double cage, avec son couple maximum de 0,55 fois le couple normal au départ, ne peut démarrer que paresseusement, pour atteindre, lors du passage, une valeur égale à 0,4 fois seulement le couple normal et même pour cette valeur réduite du couple, l'appel de courant atteint alors 2,1 fois le courant normal.

Le démarrage du moteur en court circuit simple est beaucoup plus rapide dans le fonctionnement avec couplage en étoile en raison même de l'allure de la courbe du couple de ce moteur, qui permet une accélération plus rapide et assure finalement le passage avec un couple égal, comme au départ, à la moitié du couple normal pour un appel de courant qui n'est que de 1,3 fois le courant normal.

On peut donc résumer dans le tableau comparatif I les caractéristiques essentielles de ces deux types de moteur.

TABLEAU I. — *Caractéristiques comparées du moteur en court-circuit simple* G.N. *et du moteur à double cage.*

	MOTEUR EN COURT-CIRCUIT SIMPLE G.N.		MOTEUR A DOUBLE CAGE	
Rendement, en centièmes.....	83		81	
Facteur de puissance.....	0,85		0,80	
	au départ	au passage	au départ	au passage
Couple au démarrage.....	0,5	0,5	0,55	0,4
Courant de démarrage.....	1,6	1,3	1,15	2,1
Rapport caractéristique de démarrage.....	2,26	1,84	1,78	3,25

A tous les points de vue donc, le moteur asynchrone en court-circuit simple, s'il est établi convenablement, présente une supériorité incontestable sur le moteur à double cage. Il faudrait même ajouter, pour être complet, qu'il est moins encombrant et, par suite, moins coûteux.

IV. **Démarrage avec un couple voisin du couple normal d'un moteur asynchrone en court-circuit simple.** — Nous n'avons envisagé jusqu'à présent que le démarrage sous couple réduit, qui est donc possible dans de bonnes conditions et conformément aux règles françaises pour des moteurs de 2 à 7 ch en recourant au démarrage en deux temps, en étoile-triangle. Si ces dispositions permettent de répondre déjà à bien des cas d'utilisation, elles seront cependant parfois insuffisantes. En outre, le démarrage en deux temps en étoile-triangle présente sur le démarrage par intercalation de résistances dans le circuit rotorique une infériorité : la discontinuité de l'alimentation. Il faut, en effet, après le démarrage en étoile, couper le stator pour effectuer le regroupement des phases et alimenter à nouveau ce stator monté en triangle. L'appel de courant dépendra de la rapidité de manœuvre. Si on laisse au moteur le temps de ralentir, on perdra une grande part des avantages de ce mode de démarrage.

On peut éviter cet inconvénient de discontinuité, d'une part, et la restriction relative à la valeur du couple, d'autre part, en recourant avec le type de moteur décrit précédemment au démarrage par autotransformateur. Nous allons voir qu'en effet l'on peut effectuer le démarrage sous un couple très voisin du couple normal tout en respectant les prescriptions de l'Union des Syndicats de l'Electricité en ce qui concerne l'appel du courant.

Il suffit d'utiliser un moteur à faible coefficient de fuites et couple maximum élevé qui permet de franchir en une seule étape un long intervalle de vitesse et de l'alimenter par un autotransformateur de construction spéciale. Cet appareil est établi de façon à permettre les passages de la position de démarrage en autotransformateur à la position d'alimentation directe, par intercalation d'une inductance constituée précisément par l'enroulement primaire de cet autotransformateur que l'on met en court-circuit ensuite. On évite ainsi toute discontinuité dans l'alimentation. Pour arriver à ce résultat, il suffit, à la fin du premier temps, d'ouvrir le point neutre du transformateur.

Les schémas de la figure 6 indiquent les montages successifs réalisés dans ce mode de démarrage, qui permet aisément d'assurer une protection efficace du moteur en ne mettant les fusibles en service qu'une fois le démarrage effectué.

Le graphique de la figure 7 donne les relevés oscillographiques d'un démarrage de ce genre effectué dans les mêmes conditions que précédemment sur un moteur de 5 ch à 4 pôles, 50 p:s.

Ce moteur a un rendement de 83 pour 100 et un facteur de puissance de 0,85, de sorte que sa puissance utile sur l'arbre est égale à

$$5 \times 0{,}736 = 3{,}68 \text{ kw},$$

et sa puissance apparente aux bornes en régime normal, de

$$\frac{3{,}68}{0{,}83 \times 0{,}85} = 5{,}2 \text{ kv-a}.$$

On voit d'après l'oscillogramme des courants que

(1) On a négligé dans la reproduction des oscillogrammes des courants les pointes d'enclenchement d'une durée inférieure à 1/50 seconde, trop courte pour produire une réaction sensible à l'œil sur l'intensité lumineuse des lampes, et d'ailleurs extrêmement variable d'une opération à une autre sur le même moteur.

l'intensité n'a jamais dépassé 2,6 fois l'intensité normale, cette valeur maximum n'étant atteinte qu'au départ et le courant restant ensuite égal à 1,8 fois le courant normal.

Le rapport caractéristique de démarrage de ce moteur est donc

$$\frac{2,6 \times 5,2}{3,68} = \frac{13,5}{3,68} = 3,65,$$

valeur qui reste dans les limites fixées par les règles de l'Union des Syndicats de l'Electricité. Cependant, le

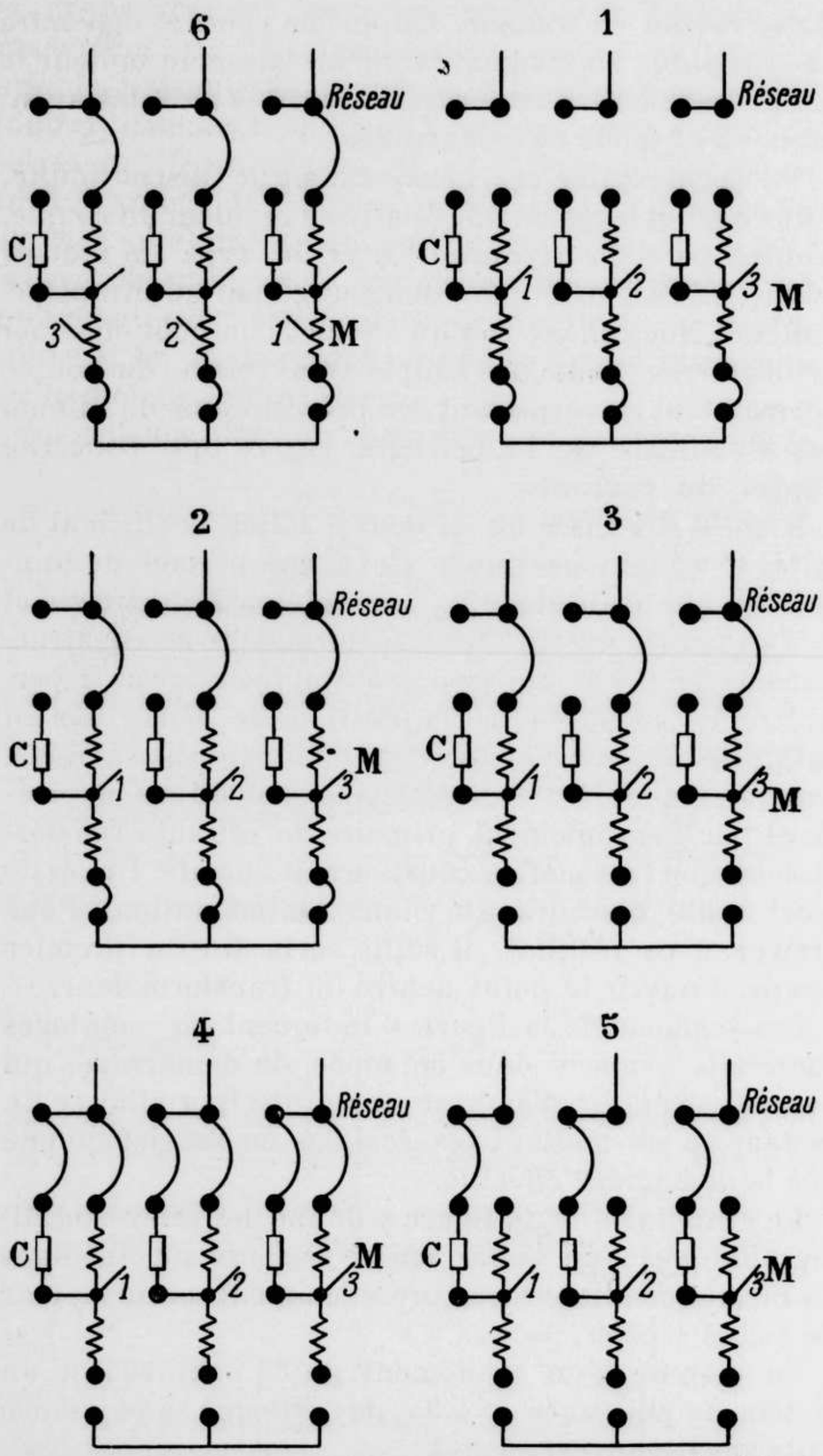


Fig. 6. — Schéma du démarrage sans discontinuité par autotransformateur du moteur asynchrone en court-circuit : 1, arrêt; 2, démarrage; 3, passage à tension réduite; 4, passage à pleine tension; 5, marche normale; 6, freinage.

couple moteur qui est déjà égal à 0,8 fois le couple normal au départ va constamment en croissant au cours du démarrage pour atteindre jusqu'à 1,1 fois le couple normal, en fin de démarrage. On voit donc que l'on peut ainsi réaliser le démarrage d'un moteur en court-circuit de 2 à 7 ch, de rendement et facteur de puissance élevés, sous un couple voisin du couple normal tout en se conformant aux règles françaises

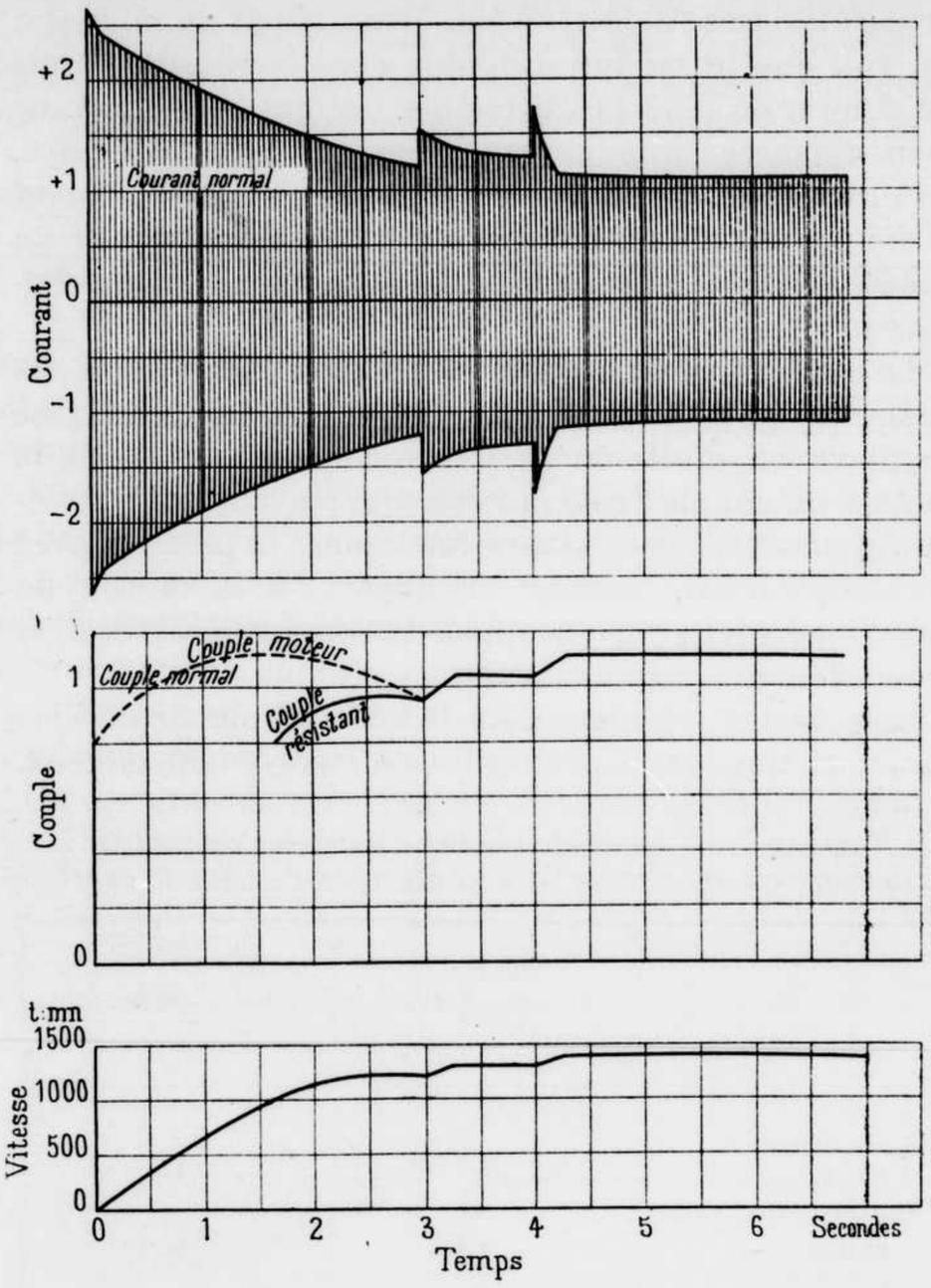


Fig. 7. — Oscillogramme du courant au démarrage par autotransformateur d'un moteur asynchrone en court-circuit simple G N; courbes des couples et vitesses correspondants durant le démarrage.

en ce qui concerne l'appel de courant pendant le démarrage.

On remarquera, en outre, que l'installation d'un moteur avec ce mode de commande est plus simple qu'avec un appareil de démarrage pour couplage en étoile-triangle, ou qu'avec un démarreur rotorique, puisqu'il suffit de trois fils seulement pour aller au moteur, au lieu de six qu'exigent les deux autres dispositifs.

La commande à distance des moteurs sera donc de ce fait plus aisée.

V. **Freinage des moteurs en court-circuit.** — Il est des cas où l'on a intérêt à freiner rapidement l'appareil entraîné par un moteur électrique. Un des moyens employés avec les moteurs à courant continu ou avec les moteurs à courants polyphasés synchrones consiste à faire fonctionner le moteur en génératrice en chargeant cette génératrice sur des résistances. Ce

procédé de freinage peut être appliqué aux moteurs asynchrones à rotor bobiné munis de bagues en les faisant fonctionner au freinage comme génératrice synchrone. Il faut alors disposer d'une source de courant continu que l'on injecte, par exemple, dans le bobinage du stator, tandis que l'on charge le bobinage du rotor sur des résistances. On pourrait songer à appliquer aussi ce procédé de freinage aux moteurs en court-circuit, mais il serait peu efficace en raison de la faible résistance du rotor et entraînerait des complications hors de proportion avec le résultat que l'on obtiendrait. Ce procédé prête d'ailleurs à critique, même pour le cas des moteurs à rotor bobiné, parce que le couple de freinage décroît très rapidement avec la vitesse et l'on ne peut obtenir ainsi l'arrêt complet de l'appareil.

Un autre procédé plus énergique, mais aussi trop brutal, consisterait à alimenter le moteur en croisant deux des fils d'alimentation de façon à inverser le sens de marche; mais on risque d'aller au delà du but à atteindre et de dépasser en sens inverse la position de repos. En outre, l'appel de courant extrêmement élevé — de l'ordre de 12 à 15 fois le courant normal — serait dangereux pour le moteur et intolérable pour le voisinage,

Quand on emploie l'autotransformateur pour le démarrage en charge, on dispose, au contraire, d'un procédé de freinage très simple et très sûr : il suffira, après coupure, de réalimenter le moteur sous tension réduite, en croisant deux des fils d'amenée de courant, ainsi qu'il est indiqué à la sixième position du schéma de la figure 6. On peut réduire ainsi l'appel de courant à la valeur tolérée pour le démarrage, par exemple, tout en disposant au repos d'un couple de freinage faible, mais ayant encore une valeur bien définie quoique très inférieure à celle du couple de démarrage. On dispose donc d'un procédé de freinage n'offrant aucun danger et cependant très efficace. Dans bien des cas, cette disposition pourra être utile.

VI. **Influence du facteur de puissance**. — On pourrait objecter que les règles françaises, en ne tenant compte que du courant de démarrage, sans faire intervenir le facteur de puissance, sont incomplètes. On sait en effet que la chute de tension dans les lignes et les transformateurs d'un réseau dépend non seulement de l'intensité du courant, mais encore du facteur de puissance. Or, ce sont les chutes de tension seules qui provoquent les variations d'intensité lumineuse dans les lampes. On pourrait donc être tenté de croire que le démarrage d'un moteur à double cage, par exemple, se fera moins sentir que celui d'un moteur en court-circuit simple pour des appels de courant égaux, parce que le facteur de puissance du premier est supérieur à celui du second. En effet, les valeurs du facteur de puissance d'un moteur de 5 ch à double cage et d'un moteur de 5 ch en court-circuit simple, mais à faible coefficient de dispersion, sont respectivement de 0,66 et 0,55 environ.

Si l'on y regarde de plus près, on constate que les différences entre les chutes de tension, dans les deux cas, sont insignifiantes. Prenons, par exemple, le cas d'un poste moyen dans la région parisienne, tel que celui sur lequel on a procédé au début de 1929 à des essais comparés de démarrage. Ce poste est équipé avec un transformateur de 100 kv-a dont les chutes de tension non inductives et inductives sont respectivement de 1,9 et 3,3 centièmes environ. Nous avons indiqué sur la figure 8 les variations des chutes de tension de ce transformateur pour le courant normal en

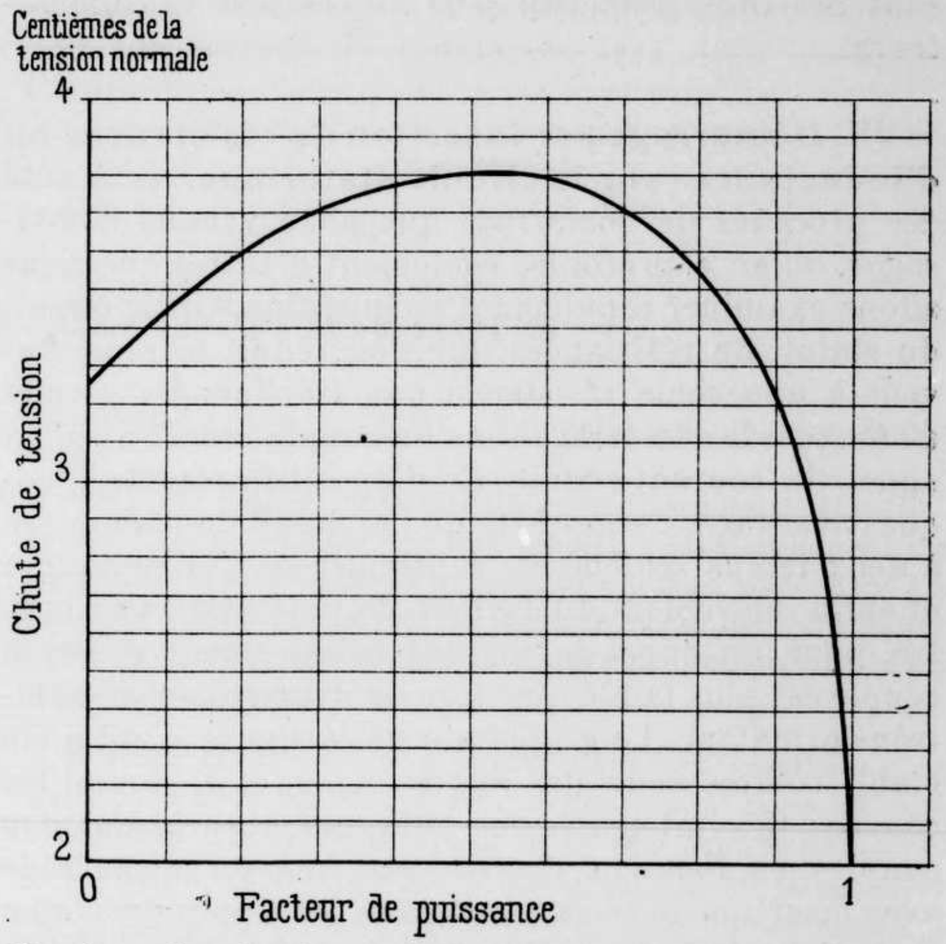


Fig. 8. — Courbe des variations de la chute de tension, en centièmes, en fonction du facteur de puissance d'un transformateur triphasé de 100 kv-a, 15 000/200 v, 50 p : s.

fonction du facteur de puissance. On voit que, pour les valeurs du facteur de puissance comprises entre 0,2 et 0,76, c'est-à-dire précisément dans la zone des facteurs de puissance au démarrage des moteurs asynchrones en court-circuit, la chute de tension varie très peu (3,6 à 3,8 centièmes).

Il en serait sensiblement de même pour les chutes de tension dans les lignes, de sorte que la limitation des courants de démarrage, abstraction faite de l'influence du facteur de puissance, suffit à fixer les limites des chutes de tension.

On voit même que le démarrage sur résistances insérées dans le circuit rotorique, s'il entraîne un relèvement appréciable du facteur de puissance, n'apportera pas, de ce fait, une réduction sensible de la chute de tension puisque pour cos $\varphi = 0{,}85$, la chute de tension est encore de 3,4 centièmes, la valeur maximum étant de 3,8 centièmes. Ce procédé de démarrage ne présentera donc d'avantages marqués sur le démarrage des moteurs en court-circuit que si la résistance est suffisamment divisée pour que l'appel de courant soit réduit et si l'appareil est manœuvré assez lentement

pour que le moteur ait le temps d'atteindre sa vitesse de régime sur chaque plot du démarreur.

Les raisons d'économie font que la première de ces conditions ne sera pas toujours respectée et une expérience journalière montre que la seconde l'est très rarement. Pratiquement donc le moteur asynchrone à rotor bobiné avec bagues et démarreur rotorique n'apportera pas à la société de distribution beaucoup plus de sécurité, au point de vue des variations de tension, que le moteur en court-circuit, tout en imposant des frais beaucoup plus élevés aux consommateurs.

VII. **Démarrage par insertion de résistances ou d'inductances sur le circuit statorique.** — A côté des procédés de démarrage que nous venons d'envisager, on en a préconisé également d'autres que nous allons examiner rapidement. L'insertion, sur le circuit du stator, de résistances que l'on réduit le plus souvent à une seule résistance non fractionnée, permet d'effectuer le démarrage sous un couple réduit avec un appel de courant réduit. Ce dispositif présente quelques avantages : simplicité de l'appareil de manœuvre à deux temps seulement, continuité de l'alimentation et enfin relèvement du facteur de puissance. Par contre, pour un appel de courant relativement élevé, le couple est plus faible que lors du démarrage par autotransformateur. Le graphique de la figure 9 qui a été établi comme ceux des figures 1, 2 et 3, donne les courbes des intensités des courants absorbés et des couples en fonction des vitesses, lors du démarrage avec insertion de résistances dans le circuit du stator du moteur de 5 ch précédemment envisagé.

On voit qu'en se limitant à un appel de courant maximum de 2,6 fois le courant normal correspondant à un rapport caractéristique de démarrage de 3,65, c'est-à-dire en se conformant aux règles françaises, le couple au départ est de 0,65 fois le couple normal. Il va ensuite en croissant progressivement avec la vitesse jusqu'au couple normal en fin de démarrage. Ce procédé ne vaut la peine d'être retenu que pour des cas intermédiaires très rares où le démarrage en étoile-triangle donnerait un couple un peu trop faible sans qu'on ait besoin de recourir cependant au démarrage par autotransformateur. Il serait alors moins coûteux que ce dernier.

Par contre, le dispositif analogue dans lequel on insère une inductance au lieu d'une résistance ne présente aucun avantage, l'économie de puissance que l'on réalise n'ayant pas d'intérêt quand il s'agit d'une dépense faite pendant le temps très court du démarrage. On peut lui reprocher par ailleurs l'abaissement du facteur de puissance et surtout son prix plus élevé. Il ne vaut donc pas la peine d'être retenu.

VIII. **Conclusion.** — Cet aperçu rapide nous conduit aux conclusions suivantes :

Sur les réseaux de distribution publique mixtes (éclairage et force), la nouvelle réglementation française permet d'employer : jusqu'à 1 ch, les moteurs en court-circuit simple avec démarrage direct sous pleine tension ; de 1 à 7 ch, les moteurs en court-circuit simple à faible coefficient de dispersion, spécialement étudiés pour se prêter, comme nous l'avons vu, à des démarrages corrects.

Ces dispositions permettront de répondre aux besoins des consommateurs et aux exigences des

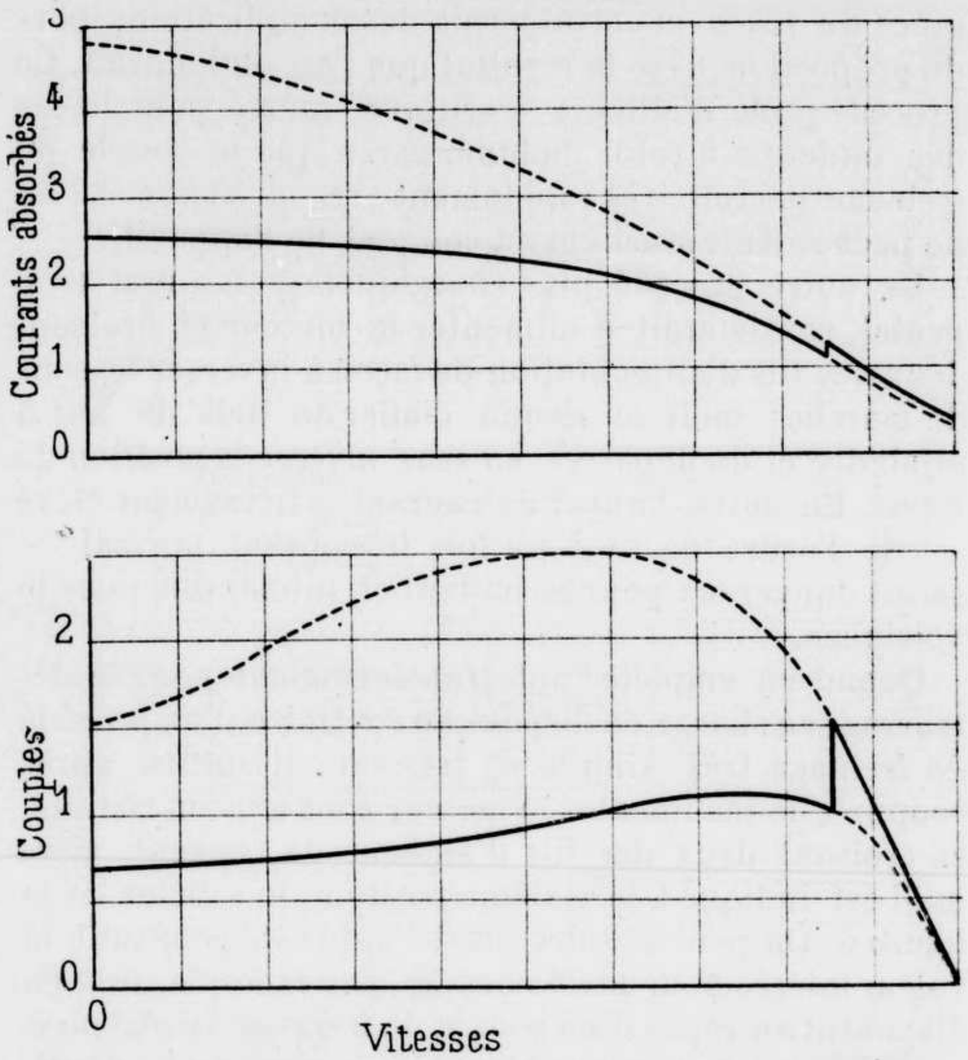


Fig. 9. — Courbes des couples sur l'arbre d'un moteur asynchrone triphasé en court-circuit simple à faible coefficient de dispersion et des courants absorbés sous tension et fréquence constantes, en fonction des vitesses, dans le fonctionnement avec et sans résistance de démarrage intercalée sur le circuit statorique.

sociétés de distribution, dans la majeure partie des cas, avec des moteurs ayant des caractéristiques de rendement et de facteur de puissance intéressantes, en même temps qu'ils sont économiques, d'encombrement réduit, d'une extrême simplicité d'entretien et d'une grande robustesse. Ces moteurs peuvent être, en effet, exécutés avec des sections en une pièce sans soudure sur le rotor, ce qui leur assure une supériorité incontestable au point de vue de la robustesse sur les moteurs du type à cage d'écureuil à simple cage et, à plus forte raison, sur le moteur à double cage, dans lesquels les soudures ou même les brasures entre les barres du rotor et les couronnes de connexions constituent toujours un point faible du bobinage secondaire.

Cette supériorité des moteurs en court-circuit simple, au point de vue de la robustesse, est d'autant plus accusée que les moteurs sont plus puissants, car les brasures sont d'autant plus difficiles à réaliser

que les sections des barres à relier sont plus fortes. On pourra donc étendre en toute sécurité les dispositions précédemment décrites au delà de la puissance de 7 ch pour les réseaux de force motrice seule ou pour les réseaux particuliers des gros consommateurs possédant leur poste de transformateur, auxquels les restrictions des règles françaises ne s'appliquent plus.

On pourra alors envisager la généralisation de l'emploi des moteurs en court-circuit dans les exploitations françaises, comme cela se pratique déjà à l'étranger et surtout aux Etats-Unis d'Amérique, en ne faisant d'exception que pour quelques moteurs asynchrones synchronisés. Ces derniers, en général les plus puissants et choisis suivant la nature de la machine qu'ils commandent, ou les facilités d'entretien qu'ils présentent du fait de leur situation, auront à assurer le relèvement du facteur de puissance de l'installation. C'est ainsi, semble-t-il, que l'on doit concevoir aujourd'hui « l'installation modèle » de distribution de force motrice : elle sera la plus économique, elle atteindra le rendement propre maximum, elle imposera enfin le minimum de charge à la société de distribution puisque son facteur de puissance sera très voisin de l'unité.

J. Le Monnier.

Revues, analyses et informations

Phénomènes de force électromotrice, de résistance et de capacité ayant pour siège les piles photovoltaïques contenant des composés organomagnésiens de Grignard (1).

1. L'effet Becquerel. — On appelle effet Becquerel la modification que subit la force électromotrice d'une pile par exposition de celle-ci à la lumière. Le phénomène avait été découvert par Becquerel dans le cas de piles à électrodes de platine ou d'argent recouvertes d'un halogénure d'argent et immergées dans l'acide sulfurique dilué, mais Rigollot montra ultérieurement qu'il s'observe avec des solutions de matières colorantes fluorescentes. En réalité, l'effet est très commun ; grâce aux travaux de Nichols et Merritt, Hodge et d'autres auteurs, on sait maintenant qu'il se trouve localisé à la surface des électrodes, ou tout près de cette surface, dans le cas des solutions de matières colorantes. Goldmann en a proposé une théorie basée sur l'effet photoélectrique; Baur a présenté, d'autre part, une théorie photochimique, qui a été soutenue ensuite par Garrison, Tucker, Russell et autres.

On sait que les composés de Grignard, les halogénures organomagnésiens, se montrent luminescents, dans des conditions appropriées. Et Kondyrew a montré que des piles contenant du bromure d'éthylmagnésium en solution dans l'éther sont le siège d'une force électromotrice photovoltaïque.

2. Le siège de l'effet photovoltaïque des piles de Grignard. — Le but initial du présent travail était de tenter de décider si l'effet photovoltaïque des piles de Grignard a son siège sur les électrodes ou à leur voisinage ou encore dans la masse de l'électrolyte. L'auteur s'est proposé, d'autre part, de déterminer des changements possibles de la résistance ou de la capacité de ces piles, sous l'action de la lumière ou des rayons X.

La plupart des piles étudiées étaient constituées par des tubes à essais de 1 inch (2,53 cm), avec électrodes montées sur des tubes de verre traversant des bouchons de caoutchouc. Les composés organomagnésiens étudiés furent les suivants : bromure de phénylmagnésium, bromure d'éthylmagnésium, iodures correspondants, bromure de bromoéthylmagnésium. Parmi les corps étudiés, ce sont ceux qui donnent lieu à l'effet photovoltaïque le plus important.

Les piles étaient montées dans un thermostat étanche à la lumière, à l'exception d'une fenêtre convenablement disposée. La source de lumière était une lampe absorbant une puissance de 1 000 w, et la lumière issue de cette source était concentrée sur la pile en expérience, au moyen d'une grande lentille de verre.

3. Résultats. — On a trouvé dans ces conditions des variations de la résistance avec l'éclairement pour les piles à bromure d'éthylmagnésium, mais non dans celles à bromure de phénylmagnésium, à moins qu'une certaine action de « formation » ne se soit produite. Les changements de la nature du solvant semblent offrir une explication des faits observés, plus raisonnable que les changements d'ionisation. Les changements de capacité de polarisation semblent n'avoir aucune relation avec les changements de résistance ou de force électromotrice. L'auteur a noté dans plusieurs cas l'existence de résistances dyssymétriques et a trouvé des capacités de polarisation atteignant 7 μF par centimètre carré d'électrode.

On estime que les épaisseurs de couche pelliculaire correspondantes sont à peu près de dimension moléculaire, plus grandes par conséquent pour les composés à noyau benzénique que pour les composés à chaîne courte. On pense enfin que les variations de force électromotrice sont dues à des phénomènes ayant pour siège la surface des électrodes ou la mince couche liquide contiguë à cette surface. — L. B.

(1) H.-E. Hammond *The physical Review*, 15 avril 1930, t. XXXV (2e série), p. 998-1007, 3 000 mots, 7 figures.

La recombinaison des ions dans l'air et dans l'oxygène dans ses relations avec la nature des ions gazeux (1).

Récemment, L.-C. Marshall mesura le coefficient de recombinaison des ions dans l'air et dans l'argon en se servant d'une nouvelle méthode directe comportant l'emploi des rayons X comme source d'ionisation. Les résultats qu'il obtint montrèrent que le coefficient α de l'équation $\frac{dn}{dt} = -\alpha n^2$ n'est pas une constante, ainsi qu'il avait été en général supposé, avec la valeur $1{,}6 \times 10^{-6}$ pour l'air, mais est

(1) O. Lahr. *The physical Review*, 1er juin 1930, t. XXXV (2e série), p. 1 394-1 404, 3 500 mots, 5 figures.

fonction de trois facteurs : 1° La durée t' d'exposition aux rayons X ; 2° la concentration d'ions initiale n_0 ; 3° l'instant t de la recombinaison. Il trouva que α tombait de 4×10^{-6} pour des temps très courts à une valeur à peu près constante d'environ $0{,}8 \times 10^{-9}$ ou $0{,}9 \times 10^{-6}$ pour des intervalles de temps d'environ 1 s. De même, la valeur de α était en général plus élevée pour de courtes durées d'exposition aux rayons X et de petites concentrations initiales des ions.

L'auteur a poursuivi ce travail dans l'air et l'oxygène avec le même appareil que Marshall, mais après des améliorations de détail.

Dans ces conditions, les résultats de Marshall obtenus dans l'air se vérifient : il se produit bien une chute rapide initiale de α pour les courts intervalles de temps; elle est attribuée au fait que la distribution initiale des ions n'est pas parfaitement désordonnée.

L'auteur a fait, d'autre part, de nouvelles mesures pour de plus longs intervalles de temps, en faisant usage d'une nouvelle méthode de calcul. Dans ce cas, α ne tombe pas à une valeur constante d'environ $0{,}8 \times 10$ à $0{,}9 \times 10^{-6}$, comme il été indiqué par Marshall, mais continue à diminuer jusqu'à des valeurs de $0{,}5 \times 10^{-6}$ à $0{,}6 \times 10^{-6}$ après 1 s, et de $0{,}3 \times 10^{-6}$ à $0{,}4 \times 10^{-6}$ après 2 s. Ce résultat correspond à une concentration initiale élevée des ions, soit environ $3{,}5 \times 10^6$ ions par centimètre cube. Avec une concentration initiale de $1{,}55 \times 10^6$ ions par centimètre cube, α ne descend qu'à $1{,}15 \times 10^{-6}$ après 1 s. Dans l'oxygène pur, les valeurs de α sont en général plus grandes que les valeurs correspondantes pour l'air, bien qu'elles s'égalisent lorsque les concentrations initiales sont faibles.

Les résultats précédents peuvent s'expliquer en supposant qu'il se forme de gros ions à déplacements lents en quantités croissantes, à mesure que le temps s'écoule, par suite de réactions avec des impuretés présentes. Les ions les plus rapides sont constamment enlevés à grande vitesse par l'effet de la recombinaison, laissant subsister les ions lents, avec coefficient de recombinaison de plus en plus bas. Il est possible, par exemple, que l'agent ionisant produise des oxydes nitriques, de l'ozone ou de l'eau oxygénée avec alourdissement des ions.

Il est impossible d'assigner une valeur exacte au coefficient α dans l'air, en raison de deux causes perturbatrices : la distribution initiale non désordonnée des ions, produisant des valeurs anormalement élevées de α pour les courts intervalles de temps, et l'alourdissement des ions par les impuretés produisant des valeurs anormalement faibles de α pour les grands intervalles de temps. Lorsque ces deux facteurs jouent un rôle minimum, le coefficient α a la valeur $(1{,}4 \pm 0{,}1) \times 10^{-6}$. — L. B.

Le rôle de l'âme de métal dans les filaments recouverts d'oxyde (1).

L'auteur a déterminé les relations entre la puissance absolue et la température pour un certain nombre de filaments recouverts d'oxydes. Une partie de ces filaments avaient des âmes de platine iridié, d'autres, des âmes de « konel », alliage de nickel, de cobalt, de fer et de titane. Le konel recouvert d'oxyde est un bien meilleur radiateur que le platine iridié recouvert d'oxyde : les mesures d'émission montrent que les filaments de konel recouvert d'oxyde donnent une plus grande émission d'électrons que les filaments de platine iridié recouvert d'oxyde dans les mêmes conditions de puissance. L'auteur donne aussi la preuve expérimentale que ces filaments n'ont pas besoin d'autre activation que la décomposition dans le vide des carbonates alcalino-terreux à l'état d'oxydes. La grande différence constatée entre les caractéristiques d'émission de ces deux types de filaments à oxyde conduit nécessairement à la conclusion que l'âme métallique du filament a une fonction déterminée, autre que celle de simple support mécanique pour les oxydes alcalino-terreux.

Pour expliquer cette différence, l'auteur suggère une modification des idées régnantes concernant le mécanisme d'émission des cathodes de ce type. Cette modification consiste à supposer que la source d'émission est la couche mixte formée par l'occlusion de métal alcalino-terreux à la surface de l'âme métallique et que les électrons émis diffusent vers l'espace vide à travers les interstices du revêtement d'oxyde. Certains arguments montrent que cette hypothèse peut expliquer aussi d'autres particularités du comportement des cathodes à oxyde : 1° La décroissance de l'émission durant la vie du filament peut s'expliquer par un lent tassement du revêtement avec occlusion de ses pores; 2° La désactivation du filament par surchauffe peut être attribuée à la même cause ; 3° La non saturation peut être due à une charge assimilable à une charge spatiale, formée par occlusion d'électrons à la surface des particules du revêtement. — L. B.

(1) E.-F Lowry. *The physical Review*, 1er juin 1930, t. xxxv (2e série), p. 1367-1378, 4 000 mots, 1 figure.

L'étalonnage de la chambre à ionisation en forme de dé (1).

L'emploi de la chambre à ionisation en forme de dé a été, jusqu'à présent, la seule méthode de comparaison des étalons primaires d'intensité de rayons X en usage dans les différents laboratoires ; c'est ce qui a conduit les auteurs à discuter l'étalonnage précis de deux chambre à ionisation de ce type.

Cinq facteurs principaux déterminent la précision d'un tel étalonnage, et l'expérience montre que toutes les erreurs se produisent en général dans le même sens L'auteur montre que le faisceau de rayons X doit avoir une section uniforme et suffisante pour couvrir la chambre en forme de dé, tout en étant diaphragmé de telle sorte que les radiations éliminées ne puissent troubler le fonctionnement de la chambre étalon. La chambre doit être soigneusement alignée dans le faisceau par tâtonnement, et non simplement centrée sur les bases du volume qu'il occupe, car on a trouvé que la distribution de l'ionisation mesurée varie considérablement suivant la longueur de la chambre. Dans les recherches antérieures de L.-S. Taylor sur la chambre à ionisation étalon, cet auteur avait indiqué les conditions particulières qui affectent la validité de la loi de l'inverse du carré. Les auteurs ont trouvé que les mêmes conditions subsistent pour la chambre en forme de dé, ce qui conduit à la nécessité de faire une analyse soigneuse du système de diaphragmes avant de procéder au calibrage. L'effet des parois des deux chambres en forme de dé a été également étudié et les auteurs concluent que la qualité de la radiation mesurée influençant très fortement les résultats, les comparaisons au moyen de cette chambre ne seront valables que dans des conditions identiques de potentiel, de filtration, et de forme de courant du générateur. — L. B.

(1) L.-S. Taylor et G. Singer. *Bureau of Standards Journal of Research*, mai 1930, t. iv, p. 631-644, 7 000 mots, 10 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

L'usine hydroélectrique de Riedji à commande automatique

L'usine hydroélectrique de Riedji, en Suisse, décrite dans la « Revue Brown Boveri » (août 1930), et qui appartient à la Société anonyme Lonza, à Bâle, est destinée à être commandée à distance à partir de l'usine d'Ackersand avec laquelle elle peut fonctionner en parallèle ; c'est essentiellement par le système de commande à distance assurant la mise en route et l'arrêt automatiques que cette installation présente quelque intérêt. Après avoir précisé les conditions d'alimentation de cette usine qui ne développe pas plus de 750 kilovolts-ampères, l'auteur donne la spécification de son équipement et décrit le fonctionnement de l'ensemble, montrant les solutions adoptées pour les divers problèmes que soulève ce mode d'exploitation.

I. **Dispositions générales : ouvrages hydrauliques.** — L'usine hydroélectrique à commande automatique de Riedji a été construite près de la chambre de mise en charge de l'usine génératrice d'Ackersand (fig. 1) au voisinage du village de Riedji dans le canton de Valais. Elle appartient à la Société anonyme Lonza (Usines électriques et chimiques).

Les conditions imposées pour le choix de l'équipement de cette usine ont été déterminées par le régime des eaux du ruisseau Gamser du val de Nanz à la chambre de mise en charge de l'usine génératrice d'Ackersand. On a utilisé pour l'amenée de l'eau le tunnel de Gebidem, construit entre la vallée de Nanz et la vallée de Viège au cours des années 1897 à 1916 par la commune de Visperterminen pour l'irrigation.

La prise d'eau se trouve dans la vallée de Nanz sur la Niederstenalp et comporte un déversoir avec amenée d'eau séparée pour l'été et l'hiver, un désableur, une vanne de chasse, une grille à grosses mailles et une grille fine. L'eau est amenée au tunnel de Gebidem par un canal souterrain d'environ 500 m de longueur, de 0,7 m² de section et ayant une pente de 7,6 pour 1000. Ce canal est en partie en maçonnerie et en partie revêtu de bois. Le tunnel de Gebidem ne comporte pas de revêtements en maçonnerie ; il a une longueur de 2 700 m, une pente de 2,5 pour 1 000 et une section de 2 m². A la sortie du tunnel, l'eau est amenée par une conduite en ciment, également enterrée, jusqu'au bassin d'accumulation situé au-dessus du village de Riedji. Cette conduite a une longueur de 6,1 km, un diamètre de 0,6 m, et une pente de 2,5 à 12 pour 1000. Des conduites d'amenée et de départ relient, en outre, les torrents Brunner et Breiter, ainsi que douze prises d'eau d'irrigation, à ce réservoir d'accumulation.

Une conduite à manchons, en fonte, relie le bassin d'accumulation de Riedji à la chambre de mise en charge de l'usine d'Ackersand (environ 200 m de différence de niveau). Cette conduite a une longueur de 1000 m environ et un diamètre de 0,4 à 0,35 m ; elle comporte à son extrémité inférieure un réducteur de pression.

Toute l'eau accumulée dans le réservoir supérieur est utilisée pour l'irrigation pendant l'été et contribue à l'élévation de la puissance de l'usine d'Ackersand pendant les mois d'octobre à avril.

La Société anonyme de la Lonza (Usines électriques et chimiques) a décidé, au cours de ces dernières années, de remplacer le réducteur de pression à l'entrée de la chambre de mise en charge de l'usine d'Ackersand par une usine permettant d'utiliser la chute de 200 m. Le meilleur moyen d'obtenir ce résultat économiquement consistait à installer une usine à commande automatique, commandée et surveillée à distance depuis l'usine d'Ackersand située plus bas.

La partie hydraulique de cette installation a été fournie par la Maison Th. Bell et Cie à Kriens. On a pu utiliser comme alternateur une machine existant déjà dans une ancienne installation. L'appareillage électrique ainsi que tous les dispositifs de commandes automatique (fig. 2) ont été livrés par la Société Brown, Boveri et Cie.

II. **Equipement de l'usine génératrice de Riedji et sa liaison avec l'usine génératrice d'Ackersand.** — L'usine génératrice comporte une turbine Pelton d'une puissance d'environ 800 ch avec réglage par pointeau et déflecteur. Cette machine est prévue pour un débit minimum de 0,07 m³ : s et pour un débit maximum de 0,4 m³ : s sous une chute nette moyenne de 205 m. Elle est directement accouplée à un alternateur triphasé de 750 kv-a, 5 000 v, 50 p : s, 500 t : mn (fig. 3).

Une ligne aérienne à 15 000 v relie cette installation à celle d'Ackersand. Une autre ligne aérienne dessert le village de Saas et une partie de la vallée de la Viège. Sur cette ligne est monté un interrupteur dans l'huile dont le fonctionnement est déterminé par un relais direct à maximum de courant. L'interrupteur peut être commandé à la main, mais son ouverture est signalée par un dispositif d'alarme dans l'habitation du gardien, se trouvant dans le voisinage de l'usine. La vanne

principale qui assure la mise en route et l'arrêt de la turbine est pourvue d'un servomoteur hydraulique commandé par un électroaimant qui comporte un enroulement à courant continu et un enroulement à courant alternatif. L'enroulement à courant continu est alimenté par une dynamo auxiliaire accouplée à la turbine. Cette génératrice est indépendante ; elle alimente les appareils de déclenchement et remplace aussi complètement une batterie d'accumulateurs. Afin de permettre la mise en parallèle des machines, le régulateur de la turbine est muni d'un dispositif électrique de réglage de la vitesse avec un interrupteur de fin de course.

III. **Schéma des connexions et fonctionnement de la commande à distance et automatique.** — Ainsi qu'il ressort du schéma (fig. 4), les barres générales de l'usine à commande automatique sont toujours sous tension pour l'alimentation du village de Saas. L'énergie absorbée par les services auxiliaires de l'usine et pour l'éclairage est fournie par un transformateur auxiliaire 10, branché sur ces barres. La mise

Fig. 1. — Vue de l'usine génératrice d'Ackersand, dans la vallée de la Viège.

en service s'effectue (en admettant que la ligne a été enclenchée à Ackersand) en manœuvrant le bouton-poussoir 31. La commande est transmise par une ligne à deux fils. Un voltmètre 32 est branché en parallèle sur ces fils et renseigne à chaque instant le chef de l'usine d'Ackersand sur l'état de fonctionnement de celle de Riedji. Si cette dernière est hors service et que, par conséquent, l'interrupteur dans l'huile 8 est ouvert, le voltmètre est connecté par l'intermédiaire de l'enroulement à courant alternatif de l'électro aimant 27 au secondaire du transformateur auxiliaire 10. Le voltmètre indique alors à Ackersand une tension d'environ 220 v. Par contre, si le groupe est en fonctionnement et que l'interrupteur dans l'huile est fermé, le voltmètre est alimenté par l'intermédiaire de la bobine du relais d'arrêt 23 par la dynamo auxiliaire 3 et il indique alors environ 110 v. S'il se produit dans l'usine à commande automatique une perturbation nécessitant un contrôle, les lignes de commande sont mises hors circuit par le relais de déblocage 22. Lorsque l'interrupteur dans l'huile 8 est ouvert, le voltmètre 32 indique alors une tension nulle. Il y a donc trois tensions de service, soit 220 v pour le groupe arrêté mais prêt à entrer en service, 110 v pour le groupe en

service mais prêt à être mis hors service, 70 v dans le cas où le groupe ayant été mis hors service, par suite d'une perturbation intense, ce qui impose le contrôle, ou dans le cas d'une ligne déclenchée.

1° *Mise en service.* — Lorsque l'instrument indicateur 32 montre que l'usine à commande automatique est prête à être mise en service, on peut provoquer la mise en marche des machines à l'aide du bouton poussoir 31. L'enroulement d'excitation à courant alternatif de la vanne principale est alors soumis à la tension du transformateur auxiliaire par l'intermédiaire de la ligne de commande. L'électroaimant est attiré et son enroulement d'excitation reste définitivement sous

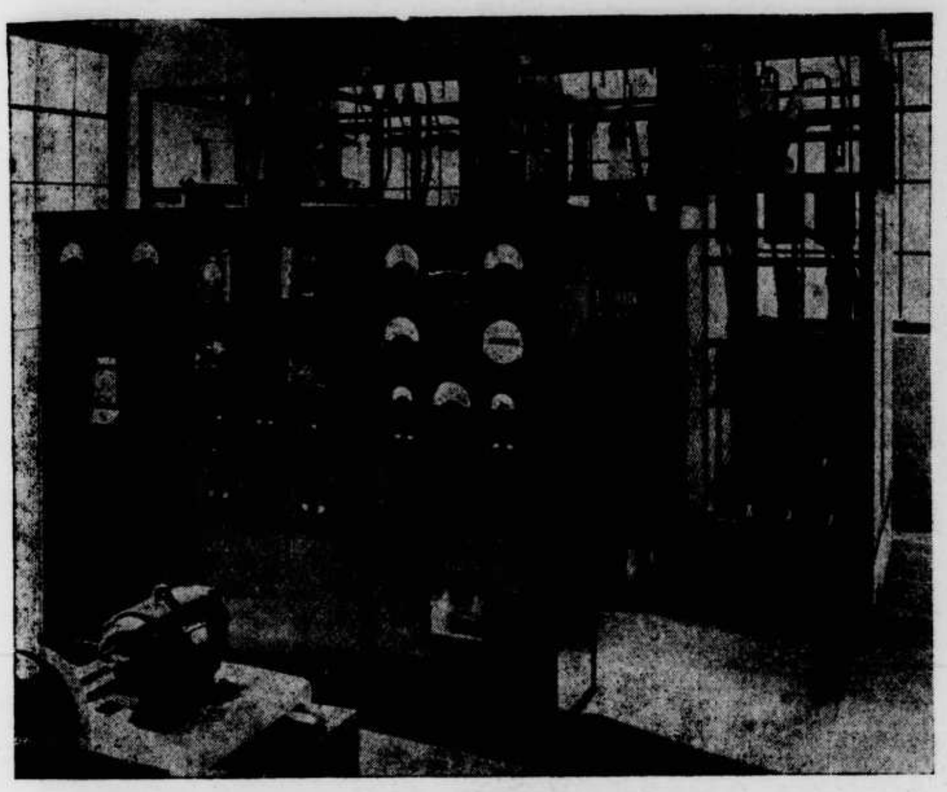


Fig. 2. — Vue du poste de distribution de l'usine hydro-électrique à commande automatique de Riedji : Au premier plan : appareillage à basse tension ; à l'arrière plan : appareillage à haute tension.

tension, grâce à un contact de retenue. Sous l'action combinée du servomoteur hydraulique et de la pression d'eau, la vanne 26 est ouverte et, le pointeau de la turbine n'étant pas complètement fermé grâce à un verrouillage, la turbine démarrera. Dès que la vitesse augmente, le régulateur à huile sous pression entre en action et règle la vitesse, approximativement à la valeur normale. A ce moment, la dynamo auxiliaire 3 a atteint sa tension normale et, par conséquent, les relais branchés à ces bornes peuvent fonctionner si cela est nécessaire. L'enroulement à courant continu de l'électroaimant 27 est alimenté par cette dynamo, d'où indépendance complète de toutes les variations de tension du réseau à courant alternatif ; ces variations qui peuvent résulter, par exemple, d'un court circuit pourraient en effet, entraîner la mise hors service du groupe.

Le bouton poussoir 31 commande, en même temps que l'électroaimant 27, le relais 39 qui est branché en parallèle. Cette manœuvre a pour effet de brancher le régulateur de synchronisation, d'une part, sous la fréquence du courant du réseau et, d'autre part, sous celle du courant de l'alternateur. Le régulateur de synchronisation règle la vitesse de la turbine, qui doit être synchrone, en agissant sur le dispositif électrique de réglage de la vitesse annexé au régulateur à huile sous pression.

Le fonctionnement du régulateur de synchronisation est basé sur le principe du synchronoscope. Le système mobile, branché entre le réseau et l'alternateur, agit par l'intermédiaire d'un dispositif de contact mécanique sur deux contacts de telle sorte que, suivant le sens de rotation de la partie mobile du régulateur, on obtienne la fermeture de l'un ou l'autre des contacts ; ces contacts modifient la vitesse du moteur de réglage 25, sur le régulateur de la turbine, dans un sens tel que les fréquences tendent à s'égaliser. Plus les fréquences sont voisines, plus les enclenchements du moteur de réglage de la vitesse sont rares. Au moment où il y a coïncidence des deux fréquences, le système mobile du régulateur s'arrête. On réalise de cette façon une régulation très rapide des deux fréquences.

La concordance des phases est contrôlée par l'appareil de mise en parallèle 14 qui est mis sous tension par les relais 40 et 17 b lorsque la tension de la dynamo à courant continu atteint une valeur égale à 90 à 95 pour 100 de sa valeur normale. Cet appareil fonctionne dès que la vitesse normale est atteinte. Grâce à un dispositif de réglage prévu dans l'appareil de synchronisation et qui est branché sous les tensions simples du réseau et de l'alternateur comme les lampes de phase, lors de la concordance des phases, le relais à action différée fonctionne ; il ferme ses contacts le plus rapidement possible afin de provoquer la fermeture de l'interrupteur principal et, par conséquent, la mise en parallèle.

L'interrupteur dans l'huile 8 est donc enclenché automatiquement dès que le synchronisme est atteint. Des contacts auxiliaires prévus sur l'arbre de l'interrupteur ouvrent les circuits d'excitation des relais 17 b et 39, ce qui entraîne la mise hors service de l'appareil de mise en parallèle et du régulateur de synchronisation. Mais au même moment, le relais 17 a est mis sous tension et le pointeau de la turbine est complètement ouvert sous l'action du moteur de réglage de la vitesse. Le moteur auxiliaire 25 est mis hors circuit par un interrupteur de fin de course lorsque la position extrême du dispositif de réglage de la vitesse est atteinte. La turbine fournira donc une charge correspondant à la quantité d'eau disponible. Le dispositif du réglage du niveau d'eau peut agir automatiquement sur le régulateur de la turbine lorsque l'interrupteur dans l'huile 8 est enclenché. En même temps le régulateur automatique de tension à action rapide agit sur l'excitation de l'alternateur et règle le courant à la valeur correspondant à la puissance apparente absorbée. La mise en service est ainsi déterminée et l'usine est en fonctionnement normal. L'enclenchement de l'interrupteur dans l'huile 8 est indiqué à l'usine génératrice d'Ackersand au moyen du dispositif de signalisation dont il est question plus haut.

2° *Mise hors service.* — Cette manœuvre se fait également à l'aide du bouton-poussoir 31 et des deux fils de

commande qui sont, à ce moment, connectés sous la tension continue. Lorsque l'on actionne le bouton poussoir, le relais d'arrêt 23 sans blocage est branché sous la tension de la dynamo auxiliaire 3. Ce relais fonctionne et il est maintenu connecté par un contact de retenue sous la tension de la dynamo auxiliaire. En fonctionnant, le relais d'arrêt 23 interrompt le circuit à courant alternatif de l'électroaimant 27 ainsi que le circuit reliant la dynamo 3 à ses barres générales. Le dispositif de commande 11 de l'interrupteur dans l'huile 8 étant muni d'une bobine à tension nulle alimentée par les barres générales de la dynamo auxiliaire, l'interrupteur dans l'huile déclenchera dès que le relais 23 aura fonctionné. Les deux bobines d'excitation de l'électroaimant 27 étant en outre désexcitées, le servomoteur de la vanne 25 fonctionnera dans le sens de fermeture. La turbine s'arrêtera donc, mais une nouvelle mise en service est possible, car le pointeau n'est pas complètement fermé grâce au verrouillage précité. Une nouvelle mise en service ne peut avoir lieu que quand le groupe

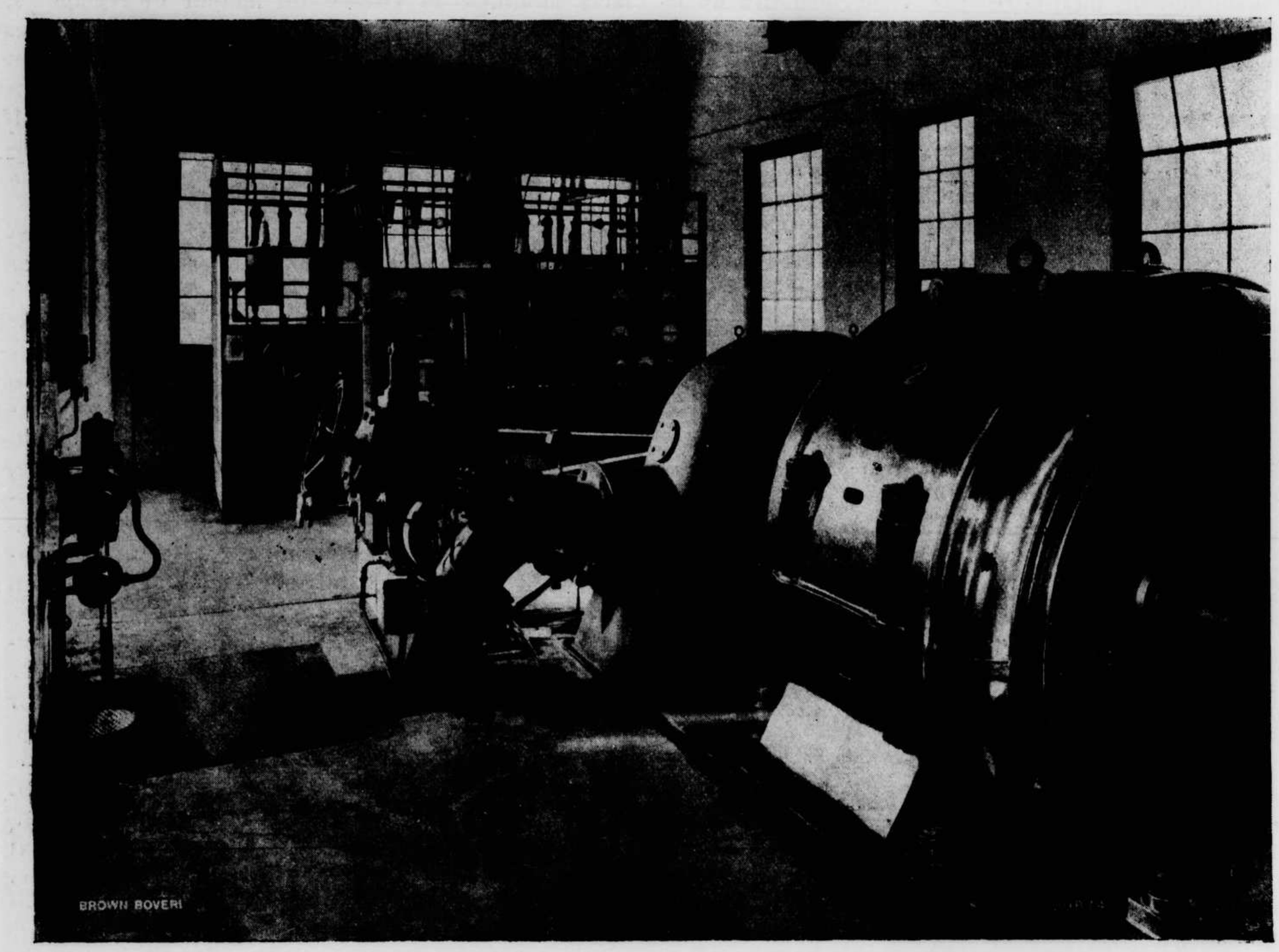


Fig. 3. — Vue de l'alternateur triphasé de 750 kv-a, 5000 v, 800 t: mn, 50 p: s, installé à l'usine à commande automatique de Riedji.

est presque arrêté et que la tension de la dynamo auxiliaire a diminué d'une quantité suffisante pour que le relais d'arrêt 23 déclenche.

3° *Les perturbations*. — Celles d'un caractère passager telles que les courts circuits dans le réseau à 15 000 v ne doivent pas entraîner la mise hors service permanente de l'usine génératrice à commande automatique. Par conséquent, le régulateur limiteur de courant entre en action et diminue l'excitation de l'alternateur de telle sorte que le courant de court-circuit ne dépasse qu'insensiblement le courant normal de l'alternateur. L'interrupteur dans l'huile 8 ne déclenchera donc pas et l'alternateur restera en service. Si le court circuit dure quelques secondes, les relais à maximum de courant de l'interrupteur dans l'huile 8 fonctionneront et provoqueront le déclenchement de l'interrupteur. Le groupe continuera à fonctionner et sera prêt pour une nouvelle mise en parallèle avec le réseau ainsi qu'il est indiqué plus haut dans la description de la mise en service. Cette nouvelle mise en parallèle s'effectuera automatiquement dès que la ligne aura repris sa tension normale; les perturbations dans l'usine proprement dite sont en général de plus longue durée et présentent un caractère plus dangereux. Le groupe ne doit pas être remis en service

avant que l'on ait procédé à une révision de l'installation. Ces perturbations sont indiquées par un relais à retour d'énergie, un relais à maximum de tension, un contact auxiliaire sur le régulateur à maximum de tension servant de protection contre l'emballement ainsi que par des thermostats prévus dans les différents paliers du groupe. En cas de perturbation, ces divers types de relais interviennent pour que la tension de la dynamo auxiliaire soit appliquée sur la quatrième barre avec blocage. Les bobines de l'interrupteur d'excitation et du relais de déclenchement 21 avec blocage sont reliées à cette barre. Il en résulte la désexcitation de l'alternateur et l'ouverture des circuits à courant alternatif et à courant continu de l'électroaimant 27 et de l'interrupteur dans l'huile. Ce dernier déclenche, par conséquent, et le noyau de l'électroaimant de la vanne 26 tombe provoquant ainsi l'arrêt du groupe. Une nouvelle mise en service automatique est empêchée par un encliquetage du relais de blocage 22. Ce relais comporte également un dispositif d'alarme qui avertit le gardien habitant dans le voisinage. Le déclenchement est évidemment indiqué à l'usine d'Ackersand par le voltmètre 32. La mise en service de l'installation, lorsque la perturbation a été

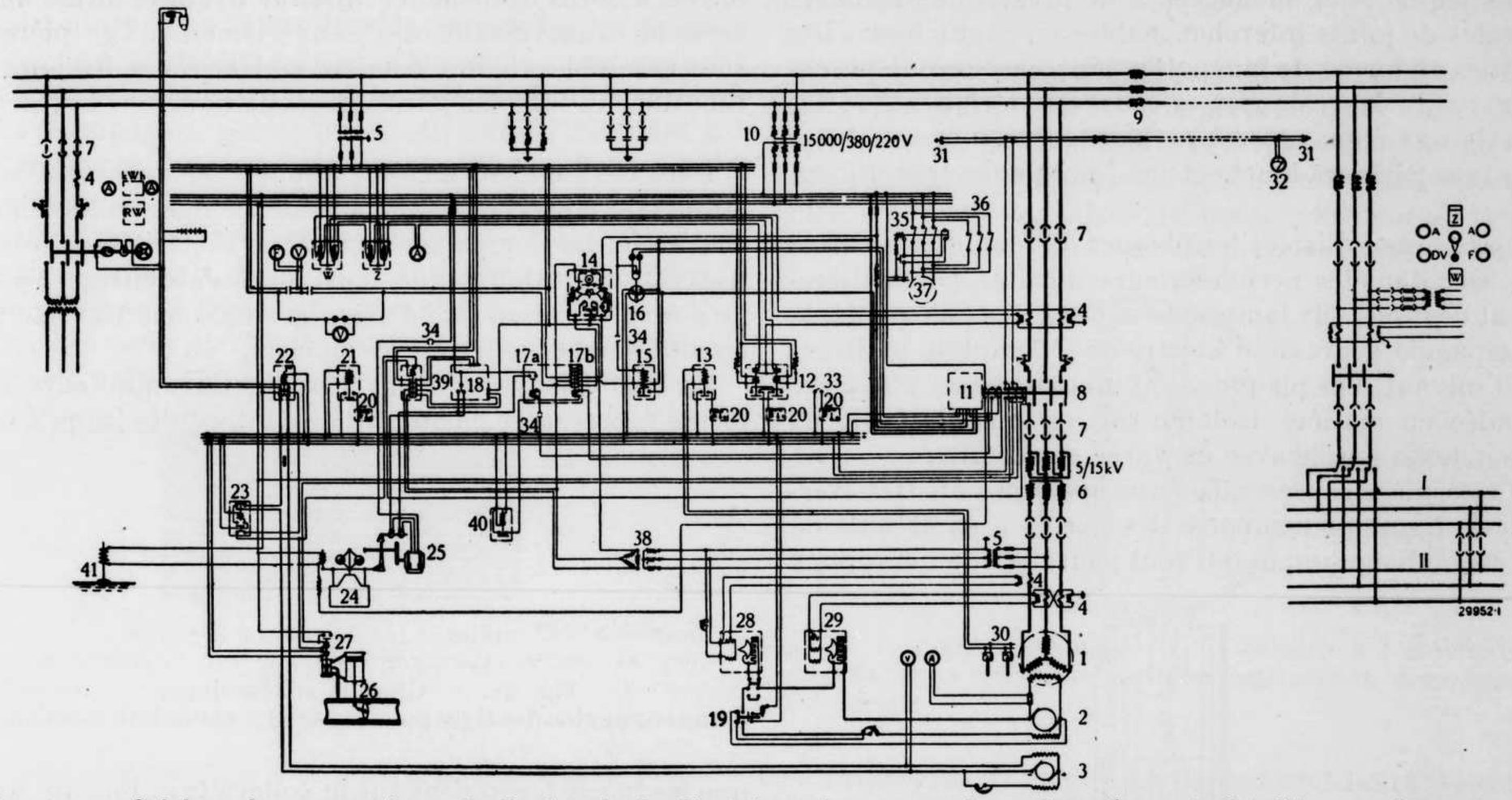


Fig. 4. — Schéma des connexions de l'usine hydroélectrique à commande automatique de Riedji : 1, alternateur; 2, excitatrice; 3, dynamo auxiliaire; 4, transformateur de courant; 5, transformateur de tension; 6, transformateur principal; 7, sectionneur; 8, interrupteur dans l'huile; 9, bobine d'inductance; 10, transformateur auxiliaire; 11, commande par moteur; 12, relais à retour d'énergie; 13, relais auxiliaire de thermostats; 14, appareil de mise en parallèle; 15, relais intermédiaire; 16, commutateur; 17, relais d'enclenchement de l'appareil de mise en parallèle et relais de mise en charge; 18, régulateur de synchronisation; 19, interrupteur de circuit d'excitation; 20, relais à voyant; 21, relais à maximum de tension; 22, relais d'arrêt avec blocage; 23, relais d'arrêt sans blocage; 24, régulateur de vitesse avec contact auxiliaire; 25, moteur pour le réglage de la vitesse; 26. vanne principale; 27, électroaimant; 28, régulateur de tension à action rapide; 29, régulateur limiteur de courant; 30, thermostat; 31, bouton-poussoir pour la mise en marche et l'arrêt; 32, voltmètre indiquant l'état de fonctionnement de la station; 33, contacts du régulateur; 34, fiche pour la commande à main; 35, contacteur; 36, interrupteur tripolaire pour shunter le contacteur; 37, moteur de ventilation, 2.2 kw; 38, transformateur auxiliaire; 39, relais d'enclenchement du régulateur 18; 40, relais intermédiaire du relais 17; 41, dispositif à flotteur.

écartée, se fait en relevant les volets des indicateurs de perturbation, en réenclenchant l'interrupteur d'excitation et en supprimant le verrouillage du relais de blocage 22. La mise en service s'effectue alors de la même façon que la mise en service normale décrite plus haut.

Le couplage a été prévu de telle sorte que la mise en service s'effectue exactement de la même façon que si l'installation était mise en marche à la main par un gardien. Ce mode de mise en service garantit la succession exacte des différentes manœuvres. Une seule impulsion suffit pour provoquer la mise en service et toutes les opérations nécessaires, y compris la mise en parallèle avec le réseau. La mise hors service de l'installation ne peut se faire qu'après la mise en parallèle avec le réseau. On évite ainsi des manœuvres de couplage trop rapprochées. Chaque opération déterminant l'exécution de la suivante, il est complètement impossible de provoquer des fausses manœuvres au cours de la mise en service ou de la mise hors service de l'usine à commande automatique.

R.-W. Meunier,
Ingénieur.

Les accumulateurs électriques d'après les brevets récents

(Suite et fin) (*)

II. **Accumulateurs alcalins fer ou cadmium, potasse, sesquioxyde de nickel** (*suite*). — 2. MONTAGE. — Pour les batteries de lampes de mines, composées de deux éléments alcalins, la Compagnie générale d'Electricité (1) utilise un couvercle en tôle d'acier dans lequel sont ménagées à la presse des rainures garnies de joints interchangeables en caoutchouc. Des saillies en forme de languettes séparées sont disposées aux bords des rainures et courbées de façon que les parois des éléments soient bien guidées et que leurs bords supérieurs touchent les joints dans leur milieu.

Dans le but d'isoler les plaques du fond et des parois du bac, dans les accumulateurs alcalins particulièrement destinés aux lampes de mines à deux éléments, la Compagnie générale d'Electricité (2) emploie le dispositif suivant. Les plaques sont montées dans une pièce moulée en matière isolante soit en ébonite, soit en caoutchouc souple avec nervures en ébonite.

Cette pièce représentée en coupe verticale transversale en figure 90 comporte des parois a en ébonite ou en caoutchouc souple qui sont pourvues de nervures b

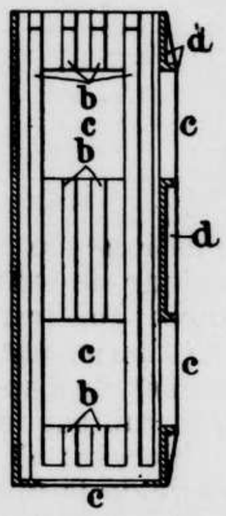


Fig. 90. — Coupe verticale d'une pièce moulée pour l'isolement des plaques d'accumulateurs alcalins.

en ébonite servant à l'isolement des plaques. Ces parois ainsi que le fond possèdent des ouvertures c pour faciliter la circulation de l'électrolyte. Des nervures d augmentent la rigidité de la pièce.

Lorsque les batteries d'accumulateurs pour lampes de mines renferment deux éléments fer-nickel, la Compagnie générale d'Electricité (1) utilise un couvercle comprenant une tôle d'acier circulaire supérieure à bords rabattus vers le bas et deux tôles demi-circulaires, à bords également rabattus ayant la forme des sections transversales des deux éléments. Ces pièces sont assemblées d'une manière rigide. Entre les bords rabattus, on loge des joints en caoutchouc.

Dans ces éléments alcalins doubles tels que ceux des lampes de mines, on connecte une des tiges polaires au couvercle. La Compagnie générale d'Electricité (2) réalise cette opération comme il est représenté en figure 91. Le couvercle a, en tôle d'acier, possède une ouverture circulaire à bords b courbés en cône.

La tige polaire g ayant à sa partie supérieure la forme représentée en pointillé est introduite jusqu'à ce

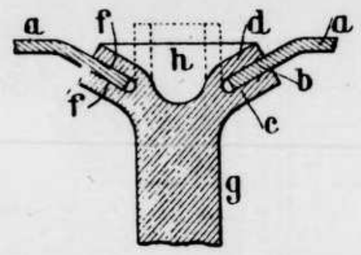


Fig. 91. — Croquis schématique d'une connexion des tiges polaires des accumulateurs alcalins.

que les bords b reposent sur la collerette c. Ensuite les parois du forage h sont amenés à la forme de la collerette d par élargissement de l'ouverture. On fait enfin des points de soudure f.

Pour fixer les lames isolantes entourant le groupe de plaques d'un accumulateur alcalin, la Compagnie générale d'Electricité (3) emploie un dispositif constitué par une tôle d'acier courbée suivant la section transversale du groupe de plaques et placée autour de la lame isolante. Comme le montre la figure 92, cette tôle a est pourvue vers chacune de ses extrémités de fentes obliques b et c que l'on glisse l'une dans l'autre pour réunir les deux extrémités de la bande.

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 25 octobre, 1 et 8 novembre 1930, t. XXVIII, p. 651 663, 696-709 et 7 4-751.

(1) Couvercle avec joint pour batteries constituées par des accumulateurs à électrolyte alcalin destinées aux lampes de mines et autres. *Brevet français n° 629 360*, demandé le 16 février 1927, délivré le 25 juillet 1927, publié le 9 novembre 1927, 50 lignes, 2 figures.

(2) Pièce moulée pour l'isolement des plaques d'accumulateurs alcalins, en particulier pour lampes de mines à deux éléments. *Brevet français n° 630 069*, demandé le 2 mars 1927, délivré le 9 août 1927, publié le 23 novembre 1927, 57 lignes, 4 figures.

(1) Couvercle avec joint pour batteries constituées d'accumulateurs à électrolyte alcalin pour lampes de mines et autres. *Brevet français n° 636 309*, demandé le 2 mars 1927, délivré le 11 janvier 1928, publié le 6 avril 1928, 65 lignes, 2 figures.

(2) Connexion des tiges polaires des accumulateurs alcalins avec leur couvercle. *Brevet français n° 630 124*, demandé le 3 mars 1927, délivré le 9 août 1927, publié le 23 novembre 1927, 37 lignes, 1 figure.

(3) Dispositif de fixation des tôles isolantes entourant le groupe de plaques des accumulateurs alcalins. *Brevet français n° 630 127*, demandé le 3 mars 1927, délivré le 9 août 1927, publié le 23 novembre 1927, 41 lignes, 2 figures.

Un inconvénient de l'emploi des plaques positives à pochettes remplies d'oxyde de nickel est le gonflement de ces pochettes pendant le fonctionnement. Il en

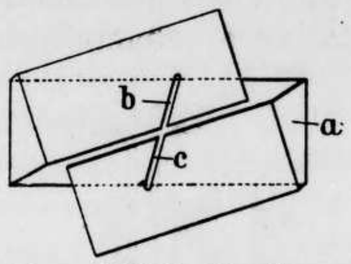


Fig. 92. — Vue du dispositif de fixation des tôles isolantes avant la réunion des extrémités.

résulte une pression considérable exercée sur les parois du bac qui se déforme et un danger de court-circuit entre les plaques positives et les négatives.

La Compagnie générale d'Electricité (1) remédie à cet inconvénient par différents montages dont celui représenté en figures 93 et 94 se rapportant à l'emploi normal d'électrodes négatives simples et d'électrodes positives doubles. Entre les négatives et les positives sont placées les baguettes isolantes à la façon ordinaire. Les deux électrodes positives ne sont séparées entre elles que sur leurs bords (fig. 93) de telle sorte

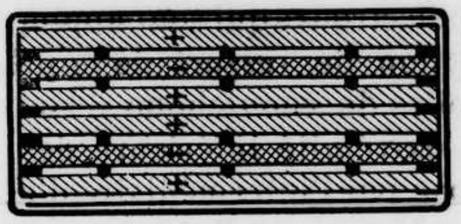


Fig. 93. — Montage adopté pour éliminer l'inconvénient du gonflement des plaques positives. Avant le gonflement.

qu'après déformation des positives l'ensemble prend la forme représentée en figure 94.

On peut aussi placer entre les deux électrodes positives un séparateur ondulé en ébonite qui s'aplatit sous

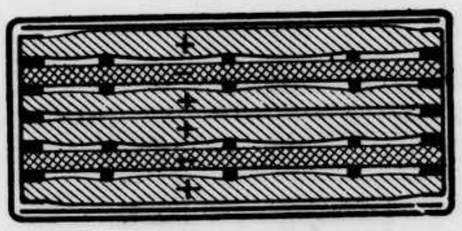


Fig. 94. — Même montage que celui de la figure 93. Après le gonflement.

l'effort de gonflement des positives. On peut aussi recourber les bords des deux électrodes positives voisines de façon que celles-ci se touchant par leurs bords laissent entre elles un intervalle suffisant.

On sait qu'il est d'usage d'ajouter à la potasse constituant l'électrolyte des accumulateurs alcalins une faible quantité de lithine. On évite ainsi la diminution de capacité de l'électrode positive à sesquioxyde de nickel. Cette addition a cependant l'inconvénient de provoquer une augmentation importante et irrégulière du volume de la matière active.

La Compagnie générale d'Electricité (1) évite cet inconvénient tout en assurant la conservation de la capacité en remplaçant l'addition de lithine par celle de très petites quantités d'acide cyanhydrique ou de cyanure de potassium (par exemple 1 à 10 g de ce sel par litre de lessive de potasse).

L'ion Cy doit réagir par catalyse contre la formation de colloïdes qui provoquent la diminution de capacité de la masse active.

Pour les batteries cylindriques de lampes de mines ou de lampes de poche, comportant trois éléments alcalins en série, la Compagnie générale d'Electricité (2) réalise le montage représenté en coupe horizontale en figure 95. Dans la caisse de fer a sont montés les 3 bacs en fer b_1, b_2, b_3. Les deux premiers sont en con-

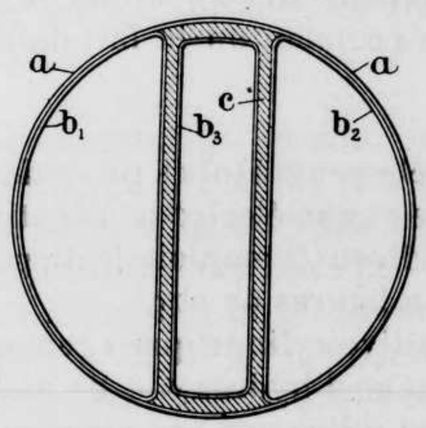


Fig. 95. — Plan schématique d'une batterie à 3 éléments dont la caisse réunit, d'une façon conductrice, deux bacs d'éléments.

tact direct avec la caisse. Le bac intermédiaire b_3 est isolé de la caisse a et des bacs b_1 et b_2 par une couche de caoutchouc c fixée par vulcanisation aux surfaces de contact correspondantes. Un couvercle commun rendu étanche par des garnitures en caoutchouc souple assure la fermeture.

Afin d'éviter que le gonflement des pochettes positives au nickel ne vienne provoquer des courts-circuits intérieurs entre positives et négatives (au fer ou au cadmium) lorsque le bloc de plaques est serré dans le bac, la Compagnie générale d'Electricité (3) adopte le montage représenté en coupe horizontale par la figure 96. Le bac a renferme les électrodes négatives b et positives c séparées par les baguettes en ébonite d. Le bloc

(1) Accumulateur électrique à électrolyte alcalin. *Brevet français n° 632 433*, demandé le 5 avril 1927, délivré le 4 octobre 1927, publié le 9 janvier 1928, 174 lignes, 8 figures.

(1) Accumulateur électrique à électrolyte alcalin et à électrode polaire positive contenant, comme masse active, des combinaisons oxygénées du nickel. *Brevet français n° 633 211*, demandé le 14 avril 1927, délivré le 22 octobre 1927, publié le 25 janvier 1928, 34 lignes.

(2) Batterie d'accumulateurs alcalins. *Brevet français n° 639 891*, demandé le 22 août 1927, délivré le 17 mars 1928, publié le 2 juillet 1928, 141 lignes, 2 figures.

(3) Accumulateur électrique à électrolyte alcalin et plaques positives à poches. *Brevet français n° 642 018*, demandé le 6 octobre 1927, délivré le 1er mai 1928, publié le 17 août 1928, 85 lignes, 3 figures.

de plaques est entouré d'une enveloppe e en tôle d'acier dont les côtés f perpendiculaires au plan des plaques sont ondulés afin de permettre l'extension du groupe dans cette direction. Les côtés g peuvent être estampés

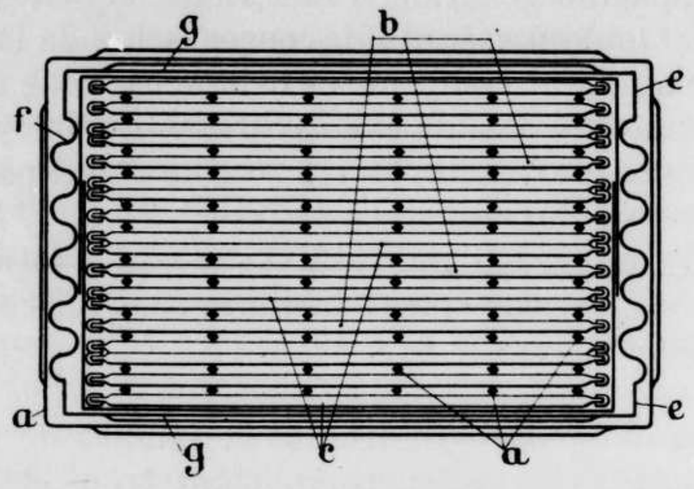


Fig. 96. — Coupe horizontale d'un accumulateur à électrolyte alcalin et plaques positives à poches.

dans le but d'augmenter leur rigidité. Au lieu d'être ondulés, les côtés f peuvent être munis de courtes fentes verticales décalées comme on le fait dans le métal dit « déployé ».

Dans les petits éléments à tubes ne renfermant qu'une électrode positive et une électrode négative, la Société Accumulateurs Edison (1) emploie le dispositif de montage représenté en figures 97 et 98.

L'électrode positive cylindrique 1 renfermant la matière active (mélange d'hydroxyde de nickel et de flocons de nickel) est reliée par une pièce en fer nickelé 3 à l'électrode négative 2 de l'élément voisin, formée

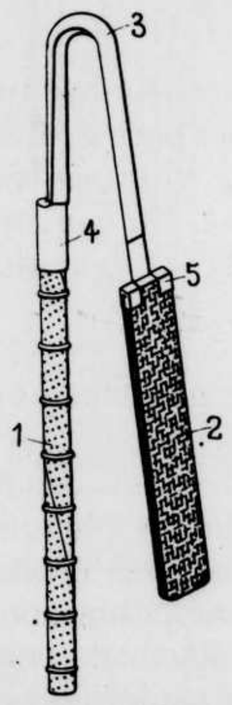


Fig. 97. — Vue en perspective de deux électrodes de signe contraire d'un accumulateur Edison.

d'une pochette plate en toile métallique renfermant la matière négative (oxyde de fer). Cette pièce en fer nickelé est recourbée et cambrée de manière à former ressort. Ses deux extrémités sont terminées par deux pattes 4 et 5 munies de griffes et serties sur les électrodes.

Le mode de montage est représenté en figure 98. Dans chaque tube 6, on met une électrode positive 1 et une électrode négative 2, chacune de ces électrodes

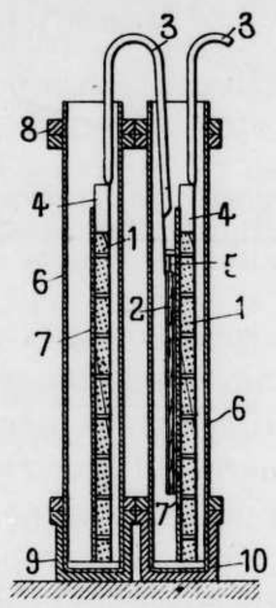


Fig. 98. — Montage des électrodes de la figure 97 dans deux éléments voisins.

communiquant par 3 à l'électrode de nom contraire de l'élément voisin. Une plaque perforée 7 en ébonite sépare les deux électrodes qui sont appliquées sur cette plaque par l'action de ressort de la pièce 3. Une ou plusieurs rondelles de caoutchouc 8 sont enfilées sur chaque tube. L'extrémité inférieure des tubes repose sur le fond du bac par l'intermédiaire d'un capuchon 9 en caoutchouc. Une rondelle de caoutchouc 10 est interposée entre le fond du tube et les électrodes.

La Compagnie générale d'Electricité (1) empêche la pénétration de l'air dans l'élément alcalin et le déversement du liquide tout en laissant échapper les gaz formés à l'intérieur de l'élément, en utilisant le bouchon représenté en figure 99. Ce bouchon a en forme de corps creux est muni à l'extérieur du filet b qui sert à le vis-

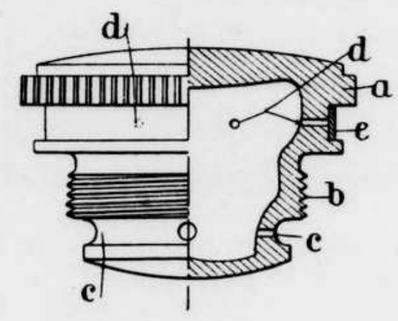


Fig. 99. — Vue du bouchon à orifice d'échappement des gaz pour accumulateurs alcalins.

ser dans le couvercle du bac. Au-dessous du filet, la paroi du bouchon est traversée par les forages c et au-dessus, par les forages d. Ceux-ci sont fermés par une bande en caoutchouc mou e tendue autour du bouchon. Dès qu'une surpression se produit à l'intérieur, les gaz

(1) Perfectionnements aux accumulateurs. *Brevet français n° 643 445*, demandé le 7 novembre 1927, délivré le 16 mai 1928, publié le 17 septembre 1928, 139 lignes. 4 figures.

(1) Bouchon à orifice d'échappement des gaz pour accumulateurs électriques. *Brevet français n° 648 257*, demandé le 15 décembre 1927, délivré le 13 août 1928, publié le 7 décembre 1928, 41 lignes, 1 figure.

pénétrent par c dans l'espace creux du bouchon et s'en échappent par d en détendant la bande de caoutchouc e.

Pour obtenir économiquement et avec le minimum de poids la jonction de deux plaques de même polarité, la Compagnie générale d'Electricité (1) obtient en une seule pièce les deux cadres de deux plaques voisines en pliant une tôle convenablement découpée pour le logement des tubes ou pochettes de matière active.

Les jonctions des différents groupes de paires de plaques sont connectées entre elles et éventuellement avec l'extrémité repliée du nez des cadres à plaque unique par une pièce de connexion dont une partie repliée verticalement peut constituer la prise de courant.

III. **Accumulateurs divers.** — 1. ACCUMULATEURS A ÉLECTROLYTE D'ACIDE SULFURIQUE. — a) *Accumulateurs au zinc.* — L'accumulateur K. Németh et A. Szanto (2) utilise le couple zinc, acide sulfurique, peroxyde de plomb. Sa cathode est constituée d'un tissu en alliage de zinc, nickel et cuivre (alpacca, argenton, packfond, nouvel argent, etc.) amalgamé et recouvert de zinc. Ce tissu est replié plusieurs fois et l'écartement entre les diverses couches est assuré par des fils du même alliage. La cathode ainsi pliée est placée entre deux feuilles de bois et le tout est mis dans une enveloppe en ébonite ou en celluloïd. Cette enveloppe ouverte en haut est ajourée sur les côtés.

C'est le même couple qu'emploie R.-E. Brenner (3). Son accumulateur est caractérisé par l'emploi de plaques négatives en zinc supportées par des tasseaux entre lesquels se trouve une petite cuvette remplie de mercure et dans laquelle plonge un petit prolongement que porte chaque plaque au milieu en bas. De ce prolongement partent des petits canaux en éventail alimentant des canaux horizontaux. Ces petits canaux sont gravés sur les plaques de zinc pour faciliter l'amalgamation du zinc qui se dépose pendant la charge. On prépare l'électrolyte en remplissant le bac d'une solution saturée et chaude de sulfate d'aluminium additionnée de 100 g de sulfate de zinc par litre. Après remplissage jusqu'aux deux tiers, on ajoute une solution saturée et chaude de sulfate d'ammonium. Cet électrolyte qui cristallise redevient liquide à la fin de la charge.

L'électrode négative A. Pouchain (4) pour accumulateur au zinc, représentée en figure 100, comprend une plaque mince 6 en laiton argenté, découpée de façon à laisser des bandes parallèles 7 dont chacune est couverte par une couche de zinc 8 formée par une pièce de zinc amalgamé convenablement repliée. Cette plaque 6

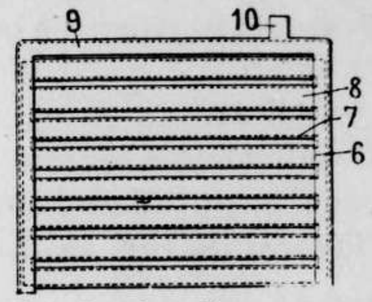


Fig. 100. — Electrode négative d'un accumulateur Pouchain.

ainsi complétée est insérée par ses bords dans un cadre métallique 9 à trois côtés portant la queue de prise de courant 10. Toute la surface de la plaque métallique qui n'est pas recouverte par le zinc est revêtue d'un vernis de façon à ne produire de dépôt de zinc pendant la charge que sur les surfaces de zinc et à éviter des couples locaux.

Dans son accumulateur au zinc (couple zinc, acide sulfurique, peroxyde de plomb), A. Pouchain (1) emploie un électrolyte dont l'acidité varie entre un minimum de 80 g d'acide sulfurique libre par litre d'électrolyte à la fin de la décharge et un maximum de 280 g d'acide sulfurique libre à la fin de la charge. Avec des électrodes positives peroxydées, on introduit dans l'élément, pour une capacité de 75 A-h, au moins 800 cm³ d'un électrolyte contenant, pour 1 000 cm³ d'eau, 80 à 150 g d'acide sulfurique, 450 à 650 g de sulfate de zinc et 15 à 30 g de substances à action catalytique.

L'électrode négative A. Pouchain (2) représentée en figure 101 comprend un châssis 1 à trois côtés sur

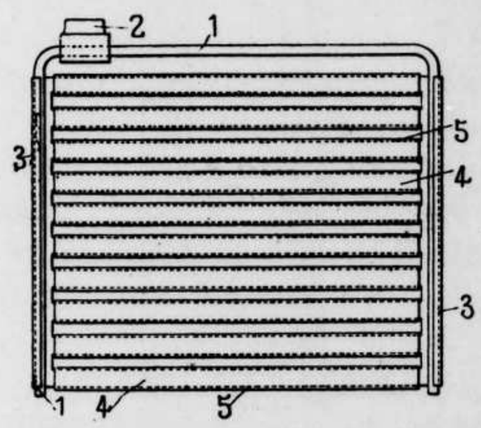


Fig. 101. — Electrode négative pour accumulateurs au zinc.

lequel est fixée la connexion 2. Sur les branches latérales de ce châssis sont enroulés les bords 3 d'une pla-

(1) Groupe de plaques doubles ou multiples pour accumulateurs à électrolyte alcalin. *Brevet français n° 651 305*, demandé le 28 janvier 1928, délivré le 8 octobre 1928, publié le 18 février 1929, 57 lignes, 4 figures.

(2) Accumulateur zinc-plomb. *Brevet français n° 636 806*, demandé le 29 juin 1927, délivré le 16 janvier 1928, publié le 17 avril 1928, 249 lignes, 6 figures.

(3) Accumulateur électrique. *Brevet français n° 652 758*, demandé le 22 septembre 1927, délivré le 29 octobre 1928, publié le 13 mars 1929, 91 lignes, 1 figure.

(4) Electrode négative pour accumulateurs électriques. *Brevet français n° 645 924*, demandé le 19 décembre 1927, délivré le 9 juillet 1928, publié le 5 novembre 1928, 130 lignes, 8 figures.

(1) Système de fonctionnement des accumulateurs électriques plomb-zinc. *Brevet français n° 653 958*, demandé le 7 mai 1928, délivré le 20 novembre 1928, publié le 29 mars 1929, 90 lignes.

(2) Electrode négative pour accumulateurs électriques à base de zinc. *Brevet français n° 666 394*, demandé le 26 décembre 1928, délivré le 21 mai 1929, publié le 1er octobre 1929, 122 lignes, 3 figures.

que métallique découpée en bandes 4. Ce châssis et cette plaque sont en laiton ou en cuivre argenté. Chaque bande 4 est recouverte (par dépôt électrolytique, par exemple) d'une couche de zinc amalgamé 5. Les endroits de la plaque 3, 4 qui ne doivent pas être couverts de zinc et les côtés du châssis 1 sont isolés de l'électrolyte par un vernis isolant, à base de caoutchouc ou de cellulose.

Pour conserver l'électrode en magasin, on l'enduit d'une solution de silicate de sodium et de gomme arabique qui se dissout ensuite dans l'électrolyte et exerce une influence favorable sur le fonctionnement de l'accumulateur.

Afin d'éviter les dépôts irréguliers de zinc sur la cathode des accumulateurs zinc, acide sulfurique, peroxyde de plomb et les courts-circuits qui peuvent en résulter, la Société anonyme des Accumulateurs Monoplaque (1) utilise un électrolyte constitué par un mélange de cinq parties d'acide sulfurique et quatre parties d'acide phosphorique, tous deux concentrés, en présence ou non d'acide fluorhydrique. On neutralise par du zinc le mélange dilué à 30° Baumé. On acidifie en introduisant une partie d'une solution d'acides sulfurique et phosphorique dans la proportion ci-dessus et deux parties d'acide sulfurique concentré. Après dilution à 30°Baumé, la solution ainsi préparée constitue l'électrolyte de charge de l'accumulateur.

b) *Accumulateurs divers.* — L'accumulateur C. Bault (2) utilise le couple étain, acide sulfurique, peroxyde de plomb. Comme le représente la figure 102, il comprend la plaque positive cylindrique a au peroxyde de plomb et

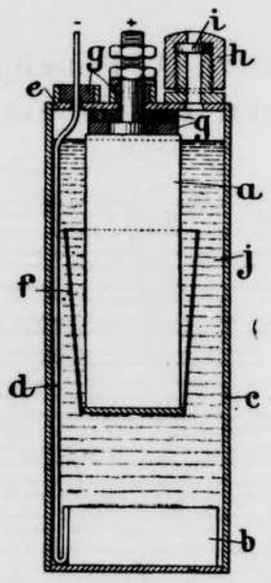


Fig. 102. — Coupe de l'accumulateur C. Bault.

une électrode négative b constituée par un bloc d'étain disposé sur le fond du bac c. Ce bloc est muni du fil d'étain d recouvert d'un vernis isolant inattaquable et traversant le couvercle e. Une cloison isolante f entre les deux électrodes divise l'électrolyte j en deux volumes inégaux (3 à 4 à la partie inférieure pour 1 à la partie supérieure). Des joints g en caoutchouc empêchent le suintement aux bornes. Le bouchon h, en ébonite ou en galalithe est aussi muni d'un joint i.

Un tel accumulateur conserverait très longtemps sa charge à circuit ouvert et pourrait être fermé hermétiquement à la décharge.

C'est le couple cuivre, acide sulfurique, peroxyde de plomb qu'emploie la Société Phosphates et Superphosphates de Tebbaka (1).

Les plaques négatives devant recevoir le dépôt de cuivre sont des feuilles de cuivre, laiton ou bronze. Les plaques positives sont à oxyde rapporté.

L'accumulateur de la Société Forta Intreprinderi electro-mecanice (2) utilise aussi le couple cuivre, acide sulfurique, peroxyde de plomb. Comme le représente en élévation la figure 103, il comprend une plaque positive 1 supportée par une base isolante 2 et

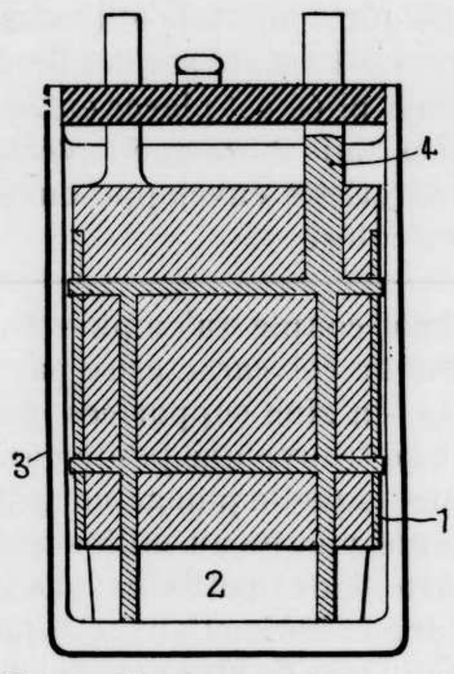


Fig. 103. — Coupe d'un accumulateur plomb-cuivre.

deux électrodes négatives 4 en plomb avec dépôt électrolytique de cuivre. La surface de ces électrodes négatives est inférieure à 50 pour 100 de celle de la positive pour réduire au minimum les actions locales. D'une force électromotrice initiale de 1,42 v, l'élément rempli de son électrolyte acide garderait sa charge pendant quinze mois; sans l'acide, il la garderait indéfiniment.

2. Accumulateurs alcalins. — Les accumulateurs électriques L. Barosso (3) sont caractérisés par l'em-

(1) Electrolyte spécial pour accumulateur à plaque négative en zinc (Invention Orlandi). *Brevet français n° 667 277*, demandé le 11 janvier 1929, délivré le 11 juin 1929, publié le 15 octobre 1929, 92 lignes.

(2) Accumulateur électrique. *Brevet français n° 639 749*, demandé le 31 janvier 1927, délivré le 17 mars 1928, publié le 28 juin 1928, 107 lignes, 1 figure.

(1) Accumulateur électrique. *Brevet français n° 667 341*, demandé le 13 avril 1928, délivré le 10 juin 1929, publié le 15 octobre 1929, 55 lignes.

(2) Procédé de fabrication d'un accumulateur plomb-cuivre. *Brevet français n° 660 141*, demandé le 10 septembre 1928, délivré le 12 février 1929, publié le 8 juillet 1929, 40 lignes, 3 figures.

(3) Accumulateur électrique. *Brevet français n° 631 126*, demandé le 18 mars 1927, délivré le 6 septembre 1927, publié le 15 décembre 1927, 70 lignes.

ploi d'une électrode négative à grande surface en métal inattaquable et sur laquelle on dépose électrolytiquement l'amalgame de zinc constituant la matière active négative.

En prenant une électrode positive au peroxyde d'argent et de la soude comme électrolyte, on a la réaction réversible suivante

$$3\,ZnHg^x + 6\,NaOH + Ag^4O^3 = 3\,Hg^x + 3\,Zn(ONa)^2 + 3\,H^2O + 2\,Ag^2,$$

la tension de service étant de 1,83 à 1,53 v.

Avec une électrode positive à oxyde de cuivre, on a la réaction réversible

$$ZnHg^x + 2\,NaOH + CuO = Hg^x + Zn(ONa)^2 + H^2O + Cu.$$

L'utilisation du sesquioxyde de nickel comme matière active positive et de la potasse comme électrolyte donne la réaction réversible

$$ZnHg^x + 2\,KOH + Ni^2O^3,\ yH^2O = Hg^x + Zn\,(OK)^2 + (y-1)\,H^2O + 2\,Ni\,(OH)^2.$$

L'accumulateur E. Dutt (1) utilise la dépolarisation par l'oxygène de l'air.

La figure 104 montre en coupe verticale un accumulateur utilisant le couple fer, potasse, oxygène de l'air et dans lequel la réaction de décharge est la suivante

$$Fe + 2\,KOH + H^2O + O = Fe\,(OH)^2 + 2\,KOH.$$

Dans le vase clos 10 on dispose une anode constituée par une feuille de nickel 1 portant un nombre consi-

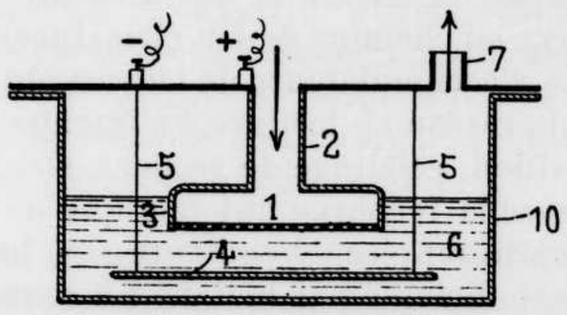


Fig. 104. — Coupe verticale d'un accumulateur utilisant la dépolarisation par l'oxygène de l'air.

dérable de perforations (500 à 1 500 par centimètre carré et formant le fond d'une boîte métallique ouverte 2. La partie 3 de cette boîte immergée dans l'électrolyte est recouverte d'une matière isolante. L'électrolyte 6 est de la potasse. La cathode 4 est une électrode en fer analogue à celle de l'accumulateur Edison; elle est maintenue par les tirants 5. Le couvercle qui ferme hermétiquement le bac 10 porte un ajutage 7 en relation avec une pompe aspirante, de façon à obtenir le débit d'air désiré à travers la feuille de nickel 1.

(1) Perfectionnements dans les piles primaires et secondaires. *Brevet français n° 655 741*, demandé le 24 octobre 1927, délivré le 22 décembre 1928, publié le 23 avril 1929, 125 lignes, 3 figures.

L'accumulateur L. Kriéger (1) est un couple zinc, potasse, oxyde de nickel.

Pour éviter l'inconvénient ordinairement rencontré d'un dépôt de zinc sous forme de flocons sans cohérence tombant au fond du bac, l'électrode négative est constituée comme il est représenté en coupe verticale par la figure 105. Cette électrode comprend une tige de fer 1 fraisée de façon à présenter des ailettes 1'.

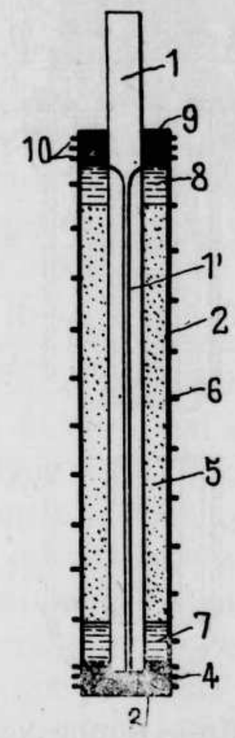


Fig. 105. — Coupe verticale d'une électrode disposée pour éviter le dépôt de zinc sous forme de flocons.

Cette tige, étamée et amalgamée, est placée dans l'axe d'un tube 2 constitué par une paroi semi-perméable (papier parcheminé par exemple) ou par de la céramique poreuse. La paroi semi-perméable est fixée par une ligature 4 sur le bouchon de caoutchouc 3. Le tube est rempli d'une masse de zinc finement divisé 5. Cette poudre de zinc provient du zinc pulvérulent ou de l'oxydation des alliages Zn^3Ca, Zn^4Ca, $MgZn^3$, etc., alliages très faciles à pulvériser. On peut partir aussi de l'amalgame Zn^3CaHg qui s'oxyde à l'air et donne du zinc amalgamé très divisé avec interposition de chaux (ou de magnésie dans le cas de l'alliage au magnésium). On peut entourer l'ensemble d'un fil de coton 6. En haut et en bas, on ménage une certaine épaisseur de chaux éteinte 7 et 8. Le tube est fermé par le bouchon de caoutchouc 9.

C'est un accumulateur sous pression que préconise L. Kriéger (2) dans le but de limiter les actions locales à l'électrode négative et de pouvoir employer ainsi des métaux très électropositifs : manganèse, vanadium, magnésium, aluminium, calcium, baryum, zinc, etc. Un autre effet de l'influence de la pression est de permettre la

(1) Perfectionnements aux accumulateurs électriques. *Brevet français n° 655 994*, demandé le 16 juin 1928, délivré le 22 décembre 1928, publié le 25 avril 1929, 216 lignes, 3 figures.

(2) Perfectionnements aux accumulateurs électriques. *Brevet français n° 669 567*, demandé le 13 février 1929, délivré le 5 août 1929, publié le 18 novembre 1929, 316 lignes, 3 figures.

formation de corps suroxygénés à l'électrode positive ou d'hydrures à l'électrode négative et d'obtenir ainsi une augmentation de la force électromotrice.

La figure 106 représente en coupe verticale un tel élément à électrolyte alcalin. A est un tube cylindrique en acier pouvant résister à une pression de plusieurs

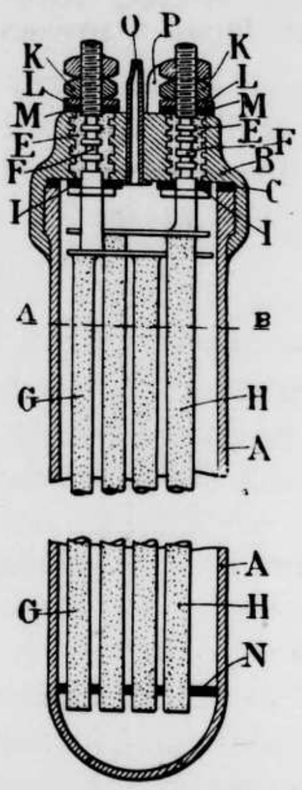


Fig. 106. — Coupe verticale d'un élément d'accumulateur sous pression.

centaines de kilogrammes par centimètre carré. Un bouchon B en acier est serti et soudé sur A avec interposition d'une rondelle de caoutchouc C. Les prises de courant F traversent le bouchon et sont serrées par l'écrou K avec interposition de la rondelle métallique L et de la rondelle isolante M. Une rondelle élastique isolante étant disposée en I, on coule sous pression un compound élastique entre F et le bouchon. Les électrodes G et H sont maintenues écartées par la plaque N perforée en ébonite. Le tube P sert au remplissage et le tube O, au dégagement de l'air. Quand le remplissage est fait, les deux tubes sont fermés par soudure autogène.

3. Accumulateurs divers. — A. Petit (1) emploie le couple zinc-chlorure cuivreux. Son accumulateur comprend un bac en tôle d'acier constituant l'électrode négative. Ce bac est recouvert intérieurement d'une très mince couche de cuivre, par électrolyse. C'est sur cette couche de cuivre que se dépose le zinc. L'électrode positive comprend des lames de cuivre rouge de 0,1 mm d'épaisseur superposées horizontalement et écartées par de petites rondelles. L'électrolyte est une solution saturée de chlorure de zinc ($d = 1{,}750$). On électrolyse sous 1 à 1,2 v jusqu'à ce que le poids spécifique descende à 1,05. Le zinc se dépose au pôle négatif et le cuivre passe à l'état de chlorure cuivreux.

(1) Perfectionnements aux piles et accumulateurs électriques. *Brevet français n° 629921*, demandé le 28 février 1927, délivré le 8 août 1927, publié le 19 novembre 1927, 234 lignes, 2 figures.

La force électromotrice calculée est de 0,90 v (Zn dégageant 112,8 calories en passant à l'état de $ZnCl^2$ et Cu^2Cl^2 absorbant 71,2 calories en se réduisant à l'état de Cu). La tension de décharge est d'environ 0,8 v. On obtiendrait le kilowatt-heure avec un poids total de 14,574 kg.

En remplaçant le chlorure cuivreux par $PbCl^2$ ou $PbSO^4$, on a une force électromotrice de 0,6 v. Avec Hg^2Cl^2 on obtient 1,04 v et avec AgCl, 1,15 v.

Si l'on substitue le magnésium au zinc, les forces électromotrices sont supérieures de 0,6 v; mais les piles ne sont pas alors réversibles. Au contraire, le fer et le nickel donneraient respectivemeut 0,14 v et 0,24 v de moins.

L'électrode négative de l'accumulateur de la Société Le Carbone (1) est un cylindre de zinc. L'électrolyte se compose de 1 litre d'eau, 200 g de chlorure de zinc et 50 g de bromure de zinc. Quant à l'électrode positive, on la constitue en tassant dans un sac autour d'un conducteur 200 g de charbon de bois imperméable aux liquides et perméable aux gaz (préparé suivant le brevet principal) et 100 g de plomb. Ce mélange est humecté avec une solution à 20 pour 100 de chlorure de zinc. Outre le chlore adsorbé par le charbon, on utilise donc le chlorure de plomb comme dépolarisant.

Dans les accumulateurs dont la matière active négative est un dépôt de zinc, nickel, argent ou autre métal, F. Stane (2) entoure l'électrode positive ou l'électrode négative d'une enveloppe poreuse inattaquable, ouverte à son extrémité supérieure.

IV. **Applications des accumulateurs.** — 1. Dispositifs spéciaux de charge et de décharge. — Lorsque les tramways ou chemins de fer électriques possèdent une batterie d'accumulateurs de tension plus faible que la tension du réseau et destinée à alimenter les fanaux, feux de position, éclairage de secours, etc., A.-G. Gallois (3) assure la recharge automatique de la batterie par le dispositif représenté en figure 107. Le moteur de traction 2 est alimenté par la ligne 1 à courant continu sous tension élevée. Entre 2 et la terre sont branchées les bobines 3 et 4 d'un conjoncteur-disjoncteur et la résistance 5.

Lorsque le courant absorbé par le moteur est nul ou très faible, les armatures 6 et 8 occupent les positions de la figure et la batterie ne se charge pas. Quand le courant atteint une valeur voulue, l'armature 6 est attirée. Une partie du courant dérivée aux bornes de la résis-

(1) Accumulateur à gaz, 1re addition. n° 34087 au *Brevet français n° 592836*, demandée le 4 juin 1927, délivrée le 10 novembre 1928, publiée le 1er mai 1929, 86 lignes, 1 figure.

(2) Perfectionnements apportés aux accumulateurs électriques. *Brevet français n° 658729*, demandé le 8 août 1928, délivré le 26 janvier 1929, publié le 19 juin 1929, 121 lignes.

(3) Procédé et appareils de recharge automatique des accumulateurs. *Brevet français n° 620972*, demandé le 29 décembre 1925, délivré le 25 janvier 1927, publié le 3 mai 1927, 121 lignes, 3 figures.

tance 5 passe par 6, 7, 8, 10, le fusible 11 et la batterie 12 qui est mise en charge.

Si le courant absorbé par le moteur est trop élevé (démarrage, rampe), l'armature 8 est attirée à son tour et le courant du moteur après avoir traversé 3 et 4 va

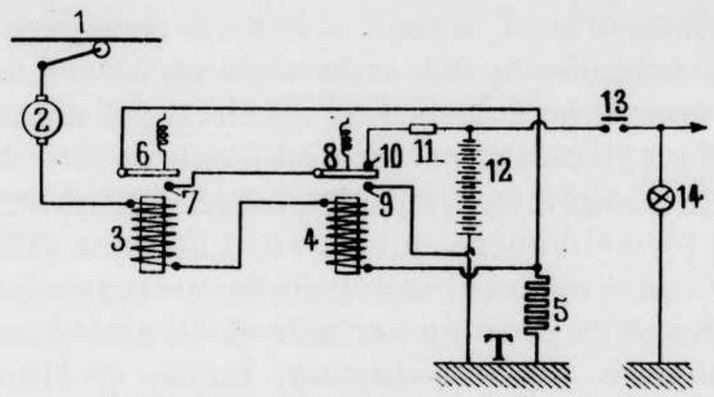


Fig. 107. — Schéma de dispositif de recharge automatique des accumulateurs.

directement à la terre par 6, 7, 8, 9, la batterie 12 étant hors circuit et la résistance 5, en court-circuit. On peut ainsi ne charger la batterie que pour certaines conditions de marche de la voiture (en palier par exemple). On a représenté en 14 le circuit alimenté par la batterie et comportant l'interrupteur 13.

Pour limiter le courant de charge de batteries de démarrage sur les voitures automobiles, L. Raynaud (1) dispose dans le circuit de charge un électroaimant qui, lorsque le courant de charge est trop élevé, introduit une résistance dans le circuit d'excitation de la génératrice.

Afin d'éviter la surcharge des batteries de démarrage, la Société anonyme des Aéroplanes G. Voisin (2) place en dérivation sur le circuit de charge, alimenté par la dynamo, un circuit auxiliaire comportant une résistance convenable. Ce circuit est fermé soit à la main, à la volonté du conducteur, soit automatiquement suivant la tension de la batterie par exemple.

La Maison Breguet (3) propose d'adjoindre aux véhicules électriques à accumulateurs un dispositif leur permettant, le cas échéant, d'être actionnés par des courants alternatifs polyphasés captés par trolley. Dans tous les cas, le freinage est prévu par récupération d'énergie dans la batterie. Quant à la recharge de celle-ci, elle peut se faire par l'équipement même du véhicule, en alimentant cet équipement par des courants alternatifs polyphasés, répandus à peu près partout.

Dans les exploitations de batterie à charge et décharge automatique (éclairage des trains, par exemple), E. Aumuller (1) adjoint à l'installation un limiteur de décharge. Celui-ci comporte un commutateur automatique à deux bobines, l'une de ces bobines étant excitée au moment de la décharge de façon que le limiteur de décharge coupe le circuit d'utilisation lorsque la tension de décharge admissible (1,85 v par élément par exemple) de la batterie est atteinte. En même temps, cette bobine est mise hors circuit. La fermeture du commutateur automatique de la dynamo remet le limiteur de décharge en circuit.

Le dispositif des Etablissements Ilïyne-Berline, Berline, Varet et Cie (2) est caractérisé par ce fait que la charge de la batterie est commencée avec deux résistances en parallèle.

Lorsque la tension aux bornes atteint 2,40 v par élément, un relais à maximum de tension coupe le contacteur d'une des résistances et envoie du courant dans la bobine d'un frein d'horlogerie. A partir de ce moment, la charge se poursuit à travers une seule résistance et ce, pendant le temps fixé préalablement du fonctionnement du dispositif d'horlogerie.

En cas d'arrêt de courant, l'électroaimant de l'interrupteur horaire agit et le contacteur tombe ainsi que le relais à maximum de tension. Dès que le courant se rétablit, un contacteur réenclenche et l'horloge permet la continuation de la charge pendant le temps qui reste à courir.

Au lieu du dispositif d'horlogerie, on peut utiliser deux compteurs, le deuxième n'entrant en fonctionnement que lorsque la tension de la batterie atteint 2,40 v par élément.

Pour la charge des accumulateurs de lampes de mines, la Compagnie française auxiliaire des Mines (3) fait usage d'un levier de contact particulier. Ce levier est muni d'une fente permettant au piston de l'accumulateur de porter en deux endroits sur le levier de contact la fente du levier assurant en outre un guidage du piston de l'accumulateur.

A. Pellicioni et Ignace de Marneffe (4) ont imaginé un

(1) Limiteur de charge pour génératrices plus spécialement applicable aux voitures automobiles. *Brevet français n° 616612*, demandé le 25 mai 1926, délivré le 30 octobre 1926, publié le 5 février 1927, 42 lignes, 1 figure.

(2) Dispositif assurant le chargement rationnel des accumulateurs, notamment dans les véhicules automobiles. *Brevet français n° 627955*, demandé le 24 janvier 1927, délivré le 20 juin 1927, publié le 17 octobre 1927, 78 lignes, 1 figure.

(3) Dispositif de traction électrique approprié pour l'alimentation en courant continu avec batterie d'accumulateurs ou en courant alternatif triphasé. *Brevet français n° 631875*, demandé le 31 mars 1927, délivré le 24 septembre 1927, publié le 28 décembre 1927, 327 lignes, 10 figures.

(1) Limiteur de décharge pour batteries. *Brevet français n° 633523*, demandé le 28 avril 1927, délivré le 24 octobre 1927, publié le 31 janvier 1928, 126 lignes, 2 figures.

(2) Perfectionnements aux dispositifs de charge automatique des batteries d'accumulateurs au plomb. *Brevet français n° 634995*, demandé le 16 mai 1927, délivré le 10 décembre 1927, publié le 3 mars 1928, 178 lignes, 2 figures.

(3) Levier de contact pour bancs de charge d'accumulateurs. *Brevet français n° 635 922*, demandé le 13 juin 1927, délivré le 3 janvier 1928, publié le 28 mars 1928, 129 lignes, 5 figures.

(4) Combinateur rotatif permettant la mise en série ou en parallèle de batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 636951*, demandé le 2 juillet 1927, délivré le 23 janvier 1928, 400 lignes, 4 figures.

combinateur rotatif qui permet, en position « charge » de charger les éléments des batteries de tension (80 v) en parallèle et ceux des batteries de chauffage (4,5 v) en série, de façon à les charger toutes sous 9 v. En position « écoute » les éléments des batteries de tension (80 v) sont déchargés en série et ceux des batteries de chauffage (4,5 v), en parallèle.

La Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés Thomson-Houston (1) assure la recharge automatique des batteries par un dispositif tel que celui représenté en figure 108. L'alimentation est assurée par le transformateur 3 à courant alternatif et

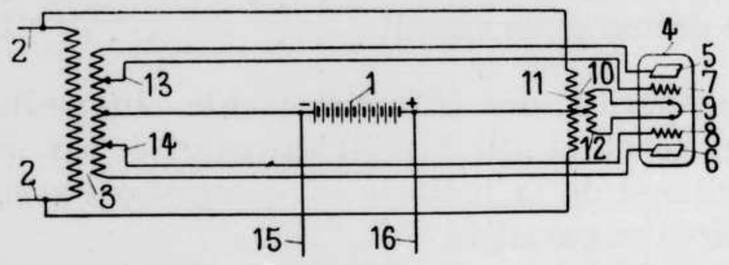


Fig. 108. — Schéma du dispositif de recharge automatique des accumulateurs adoptée par la Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés Thomson-Houston.

le redresseur est un tube à décharge 4 (à vapeur de mercure ou autre gaz) muni d'anodes 5 et 6, de grilles 7 et 8 et de la cathode chauffée 9 alimentée par le transformateur 10.

Lorsque la borne supérieure du tranformateur 3 est positive, l'anode 5 et la grille 7 sont portées à des tensions positives et la borne inférieure de la cathode 9 se trouve à sa tension négative maximum. Les tensions des grilles du tube 4 sont la résultante de la différence entre la tension de la batterie et la somme des tensions alternatives appliquées aux circuits de grilles par l'intermédiaire des transformateurs 3 et 10. Lorsque la somme maximum de ces tensions alternatives est pratiquement égale à la tension de la batterie 1, celle-ci n'est traversée par aucun courant de charge, car les tensions des grilles ne deviennent jamais positives relativement à la partie la plus négative de la cathode. Lorsque la tension de la batterie diminue, la différence résultante entre la somme des tensions alternatives et la tension de la batterie croît et elle devient suffisante pour que le courant de charge s'amorce à travers le redresseur.

Lorsque la batterie commence à se charger, le courant de charge est relativement élevé, car la tension de la batterie est minimum et le courant commence à passer dans le redresseur peu de temps après le commencement de chaque alternance. Quand la tension de la batterie croît, l'intensité du courant de charge diminue, car il commence à traverser le redresseur de plus en plus tard après le début de l'alternance de la tension d'anode. Le courant de charge est interrompu lorsque la tension de la batterie dépasse légèrement la somme des tensions composantes alternatives appliquées aux circuits de grilles.

La charge de la batterie commence donc quand sa tension devient inférieure à une valeur prédéterminée et elle s'interrompt quand la batterie est complètement chargée.

Sur les châssis de charge des accumulateurs de lampes de mines, la Société Les Ateliers mécaniques (1) emploie un dispositif permettant d'enlever un élément sans interrompre le circuit de charge. Un levier oscillant en forme d'ancre, pivoté sur l'une des glissières servant simultanément d'arrivée de courant, établit le court-circuit en position normale et est écarté par l'accumulateur à son introduction, tandis qu'alors son autre branche vient se disposer en arrière de l'accumulateur. Cette branche est à son tour écartée par l'accumulateur lors du retrait de celui-ci en rétablissant le court-circuit entre les conducteurs d'amenée de courant.

Le dispositif (système E. Bouteille) de la Société L'Eclairage des Véhicules sur Rails (2) est applicable à la charge des batteries et particulièrement des batteries alcalines, sur les véhicules (éclairage des trains par exemple). Il permet la suppression des pointes de courant trop élevées au début de la charge, assure la charge rapide et réduit le courant à une très faible valeur à la fin de la charge.

La dynamo 1 (fig. 109) a son excitation shunt en 2 avec résistance 3 dans son circuit. Le réglage de la

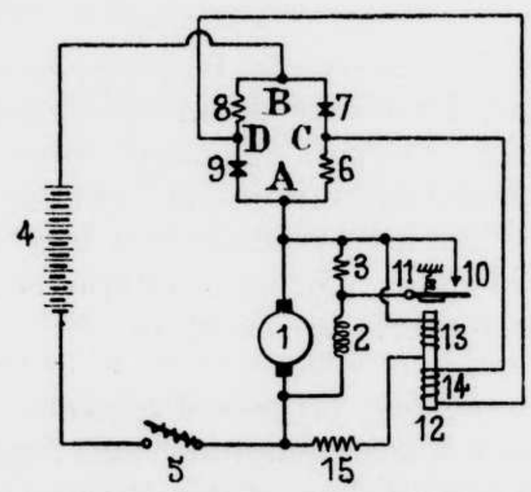


Fig. 109. — Schéma d'un dispositif pour la charge des batteries d'accumulateurs.

tension est effectué ici avec un régulateur vibrant dont la palette 10 met en court-circuit par intermittences la résistance 3. L'électroaimant sollicitant la palette porte deux enroulements : 13 en série avec une résistance 15 est traversé par un courant proportionnel à la tension de la dynamo; 14 est traversé par un courant dont le

(1) Perfectionnements aux moyens de recharge automatique de batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 642 878*; demandé le 21 octobre 1927, délivré le 9 mai 1928, publié le 6 septembre 1928, 286 lignes, 4 figures.

(1) Dispositif de court-circuitage automatique pour châssis de chargement des accumulateurs de lampes de mines. *Brevet français n° 646 347*, demandé le 24 décembre 1927, délivré le 10 juillet 1928, publié le 9 novembre 1928, 98 lignes, 2 figures.

(2) Dispositif pour la charge des batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 660 954*, demandé le 10 janvier 1928, délivré le 26 février 1929, publié le 19 juillet 1929, 236 lignes, 4 figures.

sens et la valeur dépendent du courant de charge de la batterie 4. Des résistances 6, 7, 8 et 9 montées en pont de Wheatstone sont calculées pour que la tension entre C et D soit telle que l'enroulement 14 donne un champ opposé à 13 lorsque le courant de charge est faible. Au contraire, la tension entre C et D s'inverse pour les intensités élevées du courant de charge. Il suffit pour cela de choisir, pour deux résistances diamétralement opposées du pont de Wheatstone, des métaux à coefficient de température élevée (fer, nickel) et pour les deux autres des matières à coefficient de température faible ou mieux, négatif (carbone).

La figure 110 donne en fonction du temps l'allure des courbes de tension aux bornes de la dynamo (a), et

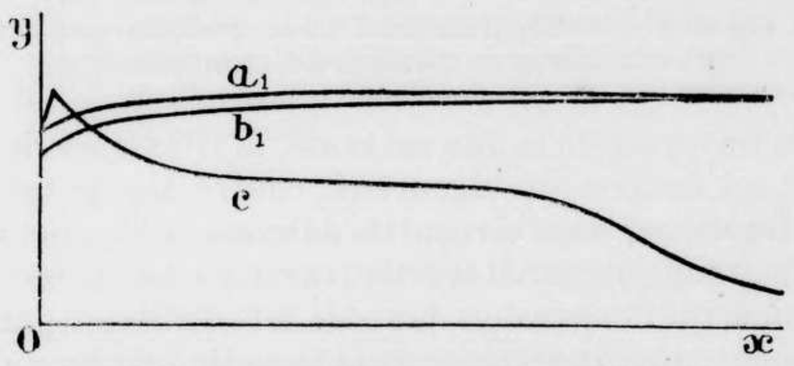


Fig. 110. — Forme des courbes de tension et de courant de charge en fonction du temps.

de la batterie (b_1), ainsi que la courbe c de l'intensité du courant de charge, dans les conditions ci-dessus.

Dans la lampe de poche C.-E. O'Keenan (1), l'accumulateur peut être rechargé sans démonter la lampe. A cet effet, deux douilles reliées aux deux pôles de l'élément sont disposées au fond du boîtier. On y introduit deux pointes reliées à la source de courant de charge. On évite le dégagement gazeux et, par suite, on peut prendre des accumulateurs fermés hermétiquement, en ne dépassant pas comme tension de charge la tension critique de 2,15 volts.

Pour la charge des accumulateurs de lampes de mine, la Compagnie française auxiliaire des Mines (2) emploie pour le banc de charge un dispositif représenté en coupe verticale par la figure 111. Les lames élastiques 1 et 2, correspondant l'une à la borne positive, l'autre à la borne négative d'un élément, sont cintrées. Une fente longitudinale 6 est pratiquée dans chaque lame pour la guider dans ses déplacements verticaux. La vis 7 permet le réglage de la course de la lame et, par suite, de son effet de ressort. Les lames 1 et 2 portent à leurs parties supérieures un plot de contact réglagle à vis 8 permettant, lorsqu'il vient en contact de la lamelle 9, de mettre en court-circuit les deux lames quand l'accumulateur correspondant est enlevé de charge. Une lamelle flexible 10 réunit deux lames

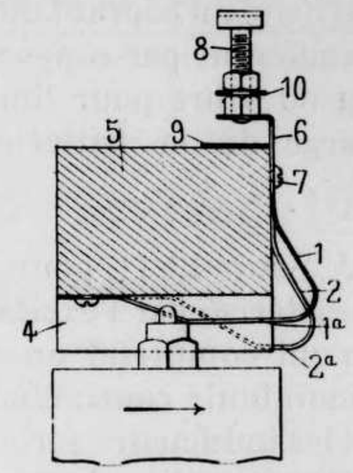


Fig. 111. — Coupe verticale d'un dispositif de banc de charge d'accumulateurs.

contiguës de deux groupes voisins pour la mise en série des accumulateurs en charge.

Dans les installations de batteries de démarrage sur les automobiles, les Etablissements Labinal (1) limitent à une valeur maximum l'intensité du courant de charge de la batterie à l'aide du dispositif représenté en figure 112. Au repos, la palette h est adhérente en j sous l'action du ressort i. Dès que la dynamo a s'amorce, la

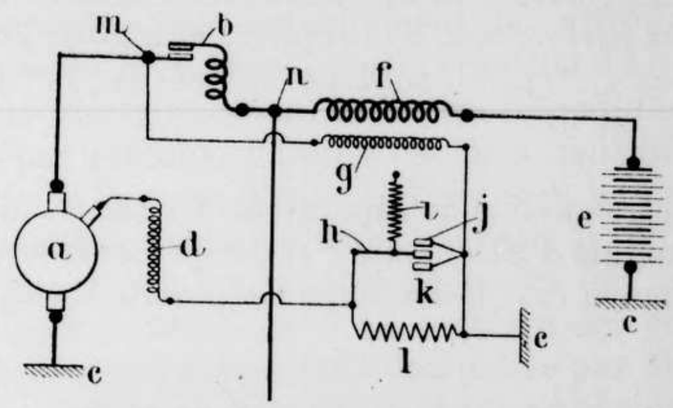


Fig. 112. — Schéma d'un limiteur de charge de batterie.

palette appuie sur k sous l'action de l'enroulement g. Le conjoncteur b entre ensuite en action. Deux cas sont alors à considérer : 1° On ne débite pas dans le circuit extérieur partant de n ; 2° on débite dans ce circuit.

1° Tant que le courant de a n'est pas supérieur à la valeur de réglage, la palette reste adhérente en k et la batterie reçoit tout le courant. Quand l'intensité du courant dépasse cette valeur, l'enroulement f devient prépondérant et h vibre en limitant ainsi le courant de charge.

2° Si le débit du circuit extérieur est supérieur à celui de la génératrice, la batterie e fournit la différence et le courant dans f ajoute son action à celle de g ; la palette appuie sur k et la génératrice a donne bien tout son courant.

Lorsque le débit dans le circuit extérieur est égal à celui de la génératrice, il ne passe pas de courant en f mais la palette reste adhérente en k comme dans le cas précédent.

(1) Perfectionnements apportés aux lampes de poche et autres lampes à accumulateurs. *Brevet français n° 652 964*, demandé le 17 avril 1928, délivré le 30 octobre 1928, publié le 15 mars 1929, 378 lignes, 17 figures.

(2) Banc de charge d'accumulateurs. *Brevet français n° 653 948*, demandé le 7 mai 1928, délivré le 20 novembre 1928, publié le 29 mars 1929, 130 lignes, 4 figures.

(1) Limiteur de charge de batterie. *Brevet français n° 666 280*, demandé le 22 décembre 1928, délivré le 18 mai 1929, publié le 30 septembre 1929, 205 lignes, 2 figures.

Quand le débit dans le circuit extérieur est inférieur à celui de la génératrice, la batterie charge la différence. Suivant que cette différence est inférieure, égale ou supérieure à l'intensité du courant de réglage, f n'est pas ou devient prépondérant par rapport à g et la palette reste collée en g ou vibre pour limiter l'intensité du courant de charge de la batterie à la valeur de réglage.

Le dispositif J. Sousedik (1) pour véhicules à accumulateurs est caractérisé par l'excitation série des moteurs de traction qui comprend un dispositif automatique servant à maintenir constamment le même sens de courant dans les inducteurs série.

Pour le démarrage, au lieu de résistances, on introduit en série un nombre croissant d'éléments de la batterie. Le freinage électrique se fait par récupération en réduisant successivement le nombre d'éléments en série. Les capacités individuelles des éléments décroissent graduellement du premier au dernier élément.

2. Séparateurs d'acide pour locaux de batteries. — Le séparateur d'acide de la Compagnie générale d'Electricité (2) est représenté en figure 113. Ce séparateur d'acide comprend un cadre a et des tôles terminales plates et perforées b_1 b_2. Entre celles-ci sont disposées des tôles perforées c_1 à c_6 repliées en zigzag. Les angles des tôles c_1, c_3, c_5 sont de 45° et de 30° pour les tôles c_2, c_4, c_6.

Un autre modèle de séparateur d'acide de la Compagnie générale d'Electricité (3) est représenté en principe par la figure 114. Les 8 tôles de plomb constituant le séparateur d'acide ont des trous dont le diamètre va en diminuant des extrémités au milieu.

A chaque sortie d'une tôle il se produit une expansion de l'air chargé d'humidité acide dont la vitesse baisse.

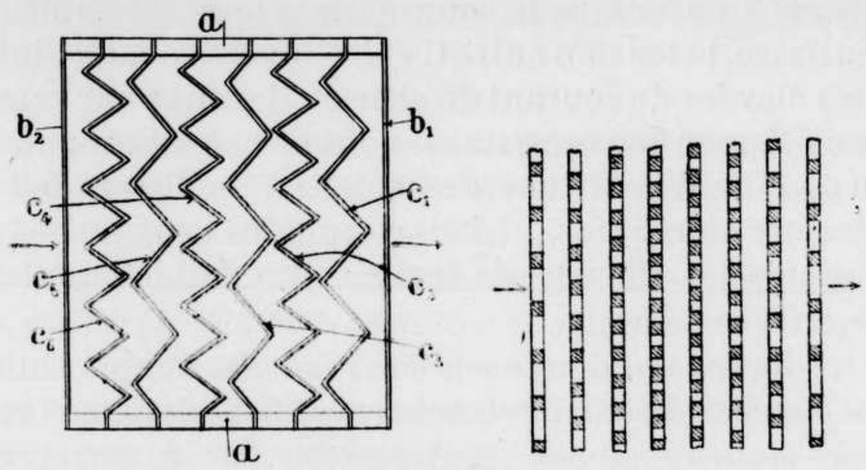


Fig. 113 et 114. — Séparateurs d'acide spécialement destinés aux chambres de batteries d'accumulateurs.

A la traversée de la tôle suivante, la vitesse accrue produit un frottement vigoureux, contre les parois des perforations, de l'air qui se débarrasse de son acide. Plus grande est la vitesse de traversée des tôles et plus intense est l'expansion dans les intervalles et, par conséquent, aussi la violence avec laquelle l'air humide est lancé contre la tôle suivante sur laquelle se déposent alors les vésicules acides. Vers la sortie on réduit la vitesse pour écarter la possibilité d'entraîner l'acide séparé.

Un tel séparateur d'acide est économique et nécessite une puissance moindre que les séparateurs à matière absorbante (laine de verre par exemple) qui occasionne une grande perte de charge et, par suite, une grande puissance de l'aspirateur.

L. Jumau.

Revues, analyses et informations

L'accumulateur Drumm.

La presse anglaise (4) a fait quelque bruit ces temps derniers au sujet d'un nouvel accumulateur inventé par le professeur James-Joseph Drumm, de l'Université de Dublin.

Nous donnons ici, d'après le brevet anglais (5) les principales caractéristiques de cet accumulateur.

C'est un accumulateur à électrolyte alcalin (potasse) dans lequel la matière active positive est le peroxyde d'argent. Celui-ci est obtenu en préparant d'abord l'hydroxyde d'argent par précipitation d'une solution bouillante de nitrate d'argent à 50 pour 100 à l'aide d'une solution à 20 pour 100 de soude caustique. Après lavage, cet hydroxyde est mélangé avec une certaine proportion d'oxyde de cérium CeO^2 et le mélange est comprimé en briquettes que l'on introduit comme pour l'accumulateur fer-nickel, dans les pochettes en acier nickelé.

A la charge, l'oxyde d'argent Ag^2O se transforme en peroxyde d'argent Ag^2O^2.

En présence d'une électrode négative en fer ou en cadmium, la force électromotrice du couple est 1,50 v pendant la première phase de la décharge (Ag^2O^2 se réduisant en Ag^2O) et de 1,15 v pendant la seconde phase (Ag^2O se réduisant en Ag métallique). J.-R.

(1) Dispositif de récupération pour véhicules électriques à accumulateurs. *Brevet français n° 666 349*, demandé le 26 décembre 1928, délivré le 18 mai 1929, publié le 30 septembre 1929, 204 lignes, 2 fig.

(2) Séparateur d'acide spécialement destiné aux chambres de batteries d'accumulateurs électriques. *Brevet français n° 657 721*, demandé le 6 juin 1928, délivré le 16 janvier 1929, publié le 27 mai 1929, 71 lignes, 1 figure.

(3) Séparateur d'acide pour locaux de batteries d'accumulateurs. *Brevet français n° 659 263*, demandé le 13 juillet 1928, délivré le 4 février 1929, publié le 26 juin 1929, 127 lignes, 2 figures.

(4) Voir notamment *The electrical Review*, 22 août et 19 septembre 1930, t. CVII, p. 290-292 et 447-448.

(5) *Brevet anglais n° 335 587* du 27 mars 1929.

SECTION DE LÉGISLATION

Application rigoureuse de la loi du 27 février 1925 à une demande de relèvement de tarifs

(Arrêt du Conseil d'État du 11 juillet 1930)

Le Conseil d'Etat vient de refuser à un concessionnaire, dont le cahier des charges était cependant inspiré par certaines considérations sur les circonstances économiques, le droit de demander actuellement la revision des tarifs de la distribution en faisant une application rigoureuse de l'article 16 de la loi du 27 février 1925. L'arrêt du 11 juillet 1930 peut être regretté, mais il doit être connu.

I. **Observations sur la situation exacte des parties.** — On ne saurait comprendre la portée doctrinale de l'arrêt reproduit, si l'on ne se rappelait certains faits importants qui se sont passés depuis 1920, en ce qui concerne les rapports des villes concédantes et des concessionnaires.

a) Le cahier des charges des concessions municipales de distribution d'énergie électrique n'avait pas été modifié depuis 1908, lorsque les événements de 1914 et le bouleversement des circonstances économiques dites de « l'après-guerre » rendirent nécessaire un changement qui s'inspira de l'idée suivante. Les concessions ne peuvent être octroyées que pour un assez long espace de temps, afin que soit possible l'amortissement des ouvrages. D'autre part, la loi du 15 juin 1906 impose à toute concession un tarif maximum; il est souverainement imprudent de dire que ce tarif sera inchangé, pendant trente ou quarante ans. Ce serait dangereux pour le concessionnaire que rien ne peut garantir contre le fléau des augmentations successives (matières premières, main-d'œuvre, etc.) et dangereux pour les abonnés qui peuvent espérer une diminution dans les prix de revient et entrevoient la possibilité d'une amélioration dans les tarifs. L'idée qui a prévalu dans les hautes sphères administratives est d'associer en quelque sorte le vendeur et l'acheteur, plus exactement, de fixer le prix de vente en proportion du prix de revient, de créer, par conséquent, sous le nom de tarif de base, un chiffre qui, loin d'être rigide et permanent, sera affecté d'un coefficient, variant, en plus ou en moins, suivant les données du prix de revient.

C'est ce qui a été expliqué dans des instructions envoyées dès le 24 novembre 1919 aux préfets et à la même date aux ingénieurs en chef, dans lesquelles le ministre des Travaux publics, sans parler encore d'un cahier type nouveau, exprimait sa pensée de lamanière suivante : « La hausse générale des prix portant en particulier sur les charbons, la main-d'œuvre et les matières premières paraît nécessiter l'étude d'un relèvement de tarifs... Afin de faciliter cette étude la question a été soumise au Comité d'Electricité. Ce comité a estimé que, d'une manière générale, des relèvements de tarifs sembleraient nécessaires. Il a même indiqué les moyens à employer pour pouvoir dans l'avenir combiner des tarifs capables de suivre dans une mesure aussi large qu'on peut actuellement le prévoir, les fluctuations des prix et cela par la création d'un index économique électrique dont je fixerai périodiquement la valeur par régions, d'après les prix moyens des charbons et de la main-d'œuvre. Il ne sera pas nécessaire de modifier les cahiers des charges, il suffira de rédiger d'une façon convenable la partie des articles qui est laissée en blanc dans les cahiers des charges types ». Cette instruction était complétée par une circulaire aux préfets en date du 17 janvier 1920 relative à l'index économique dans les distributions ayant leur source électrogène dans une chute d'eau ; et ces documents contenaient des exemples de divers tarifs extrêmement intéressants. Enfin, toutes ces indications étaient résumées par différentes circulaires du 28 mars, 3 avril, 25 mai 1920.

On se rendit compte assez rapidement que l'introduction d'un tarif complètement inédit dans les lignes pointillées de l'article onzième du cahier type était un peu délicate et le décret du 28 juin 1921 modifia l'article onzième du cahier sur deux points très importants.

La première modification, sans rendre obligatoire dans son libellé la mention d'un index économique devant modifier forcément le tarif de base, donnait en lettres italiques la rédaction facultative des divers paragraphes prévoyant l'introduction de cet index. C'est la modification la plus connue par les électriciens, parce qu'on ne saurait remplir les blancs de ces nouveaux paragraphes, sans y apporter une certaine attention.

La seconde modification devait passer et est en effet

restée plus inaperçue. Elle consiste en une adjonction (obligatoire, puisqu'elle est écrite en lettres ordinaires) qui impose au distributeur de modifier son tarif maximum de base, si des facilités lui sont données pour s'alimenter dans le cours de sa concession à des conditions meilleures en prenant à certains postes du réseau du courant électrique mis à la disposition de la commune, en conformité de la loi du 16 octobre 1919 sur les concessions hydrauliques.

b) Le 27 février 1925 a paru une loi qui, sous ce titre « loi ayant pour but de modifier et de compléter la loi du 15 juin 1906 » a pour objet principal le régime nouveau des permissions de voirie, mais contient un article 16 qui, si l'on se reporte aux travaux préparatoires, est un chef-d'œuvre d'inconséquence : dans le premier alinéa, il rend applicable à tous les cahiers des charges antérieurs à la loi la seconde modification dont nous venons de parler : il y aura une obligation rétroactive pour le concessionnaire de changer ses tarifs de base quand il trouvera une source d'alimentation en courant plus avantageuse. Dans le second alinéa, la loi envisage les cahiers des charges qui ont adopté l'index économique, mais probablement par suite d'un oubli n'ont pas déterminé la date à laquelle cet index sera révisé pour la première fois, ni les intervalles périodiques auxquels cette révision aura lieu. Pour empêcher la stabilisation perpétuelle de l'index initial, elle établit diverses périodes (1).

Mais l'on n'a pas pensé à faire une déclaration catégorique pour faciliter dans les contrats qui ne l'avaient pas admis avant la loi, l'introduction de cet index économique, si bien que les contrats qui avaient déjà été améliorés deviendront parfaits, puisqu'ils ne connaîtront point une stabilisation trop longue, tandis que les contrats qui n'auront jamais été améliorés, modernisés, sont condamnés à rester toujours immuables, jusqu'à leur expiration...

C'est dans ces conditions qu'a vu le jour le procès terminé par l'arrêt dont le texte est reproduit plus loin.

II. **Faits ayant donné lieu au procès**. — Le maire de la commune de Rugles et M. Fouquet de Lusigneul avaient, le 20 janvier 1920, signé un traité de concession auquel était annexé un cahier des charges accepté d'un commun accord le 19 décembre précédent. Bien que les tarifs écrits à l'article onzième ne comportassent point d'index économique, on trouvait dans un article 12 bis certaines indications portant sur le prix de la main-d'œuvre, des impôts, leurs augmentations possibles, etc.; il était donc permis de penser que les parties contractantes, loin d'avoir eu la pensée de consacrer des tarifs toujours rigides, s'étaient par anticipation rapprochées autant que possible du régime qui, dix-huit mois plus tard, devait faire son apparition officielle dans le cahier type de 1921. Le concessionnaire avait présenté au conseil municipal un avenant contenant des prix nouveaux et tenant compte, soit par la modification des tarifs de base, soit par l'adjonction d'un index économique, des majorations considérables des prix du charbon, du coût de la main-d'œuvre, etc.

Sans vouloir imposer au conseil les chiffres proposés, il demandait qu'on les fît examiner par des techniciens qui auraient à se prononcer sur leur exactitude, ou en proposeraient d'autres, tout en s'inspirant des mêmes idées.

La prétention fut repoussée par le conseil municipal et, le 25 octobre 1925, le maire prenait un arrêté pour fixer les prix de la distribution, tant au point de vue des fournitures aux services publics que des fournitures aux particuliers : il déterminait ce prix d'après les données du cahier des charges initial.

L'affaire fut portée à la juridiction administrative à laquelle le concessionnaire présentait plusieurs chefs de demandes.

1° Un premier argument était ainsi libellé : Le contrat de concession contient une clause d'après laquelle les parties déclarent se conformer aux principes de la loi du 15 juin 1906 et aux décrets intervenus ou à intervenir en exécution de cette loi : on demande à la justice de dire que dans *ces décrets à intervenir* il fallait faire entrer le cahier type nouveau de 1921. Le Conseil d'Etat a déclaré en réponse que le cahier type nouveau ne pouvait avoir été envisagé par les parties contractantes comme un texte administratif ayant pour but d'assurer l'exécution de la loi et qu'elles n'avaient pu envisager la substitution à l'ancien cahier, d'un autre cahier dont le type était encore à ce moment en cours de préparation.

2° Le second argument était surtout destiné à appliquer au contrat en cours le désir du législateur de 1925. Ce contrat contenait des prix de base établis d'après des éléments envisagés dans un article formel. Si un contrat qui a prévu un index économique établi d'après un ensemble d'éléments étudiés ne doit pas rester immuable en ce qui concerne la fixation de cet index, s'il faut qu'à certaines époques il soit modifié, ne devra-t-il pas, à fortiori, en être de même pour un contrat qui a prévu d'une manière imparfaite la correction à apporter et qu'il suffit de compléter d'après les données émanant du ministre lui-même?

Cet argument est repoussé par une application rigoureuse des deux paragraphes de l'article 16 de la loi du 27 février 1925. Le conseil remarque que le premier

(1) Rappelons que l'article 16 de la loi qui occupe à lui seul le titre troisième relatif aux distributions concédées est ainsi conçu : « Les clauses de révision des tarifs de base insérés dans l'article onze du cahier des charges types des concessions de distribution d'énergie électrique approuvés par le décret du 28 juin 1921, ainsi que la procédure relative à cette révision, sont applicables à tous les tarifs de vente de l'énergie électrique fixés par des traités antérieurs à la présente loi et qui ne comportent pas lesdites clauses.

» Si la tarification comprend un terme correctif des tarifs maxima de base, la première révision de ce terme aura lieu lors du premier avenant apportant une modification quelconque au traité de concession et au plus tard le 15 juin 1936. Les révisions suivantes de ce terme correctif auront lieu tous les dix ans ».

paragraphe ordonne les modifications des tarifs de base, dans les contrats de concession antérieurs à la loi, dans les seuls cas ajoutés à l'article onzième du cahier des charges par le type contenu au décret du 28 juin 1921, par exemple dans l'hypothèse où le distributeur peut se procurer à meilleur compte le courant qu'il distribue (concession hydraulique, concession de distribution aux services publics, etc). Or il était avéré que le concessionnaire de Rugles ne se trouvait dans aucun de ces cas.

Quant au second alinéa de l'article 16 de la loi du 27 février 1925 il prévoit à titre obligatoire la révision de l'index économique dans tout avenant qui interviendrait entre les deux parties : il était avéré également qu'aucun avenant n'était intervenu, puisque toutes les formalités se bornaient à une proposition du concessionnaire repoussée par l'autorité concédante. Si l'on admet que le cahier des charges de 1920 contient une clause assimilable à un index économique, c'est seulement au 15 juin 1936 que la révision de l'index pourra se réaliser.

3° Le dernier chef de la demande était relatif à l'arrêté du maire qui, d'office, avait réglementé les prix. Le concessionnaire considérait qu'il s'était servi de son pouvoir réglementaire pour s'immiscer dans une matière contractuelle. Or, c'est le conseil municipal qui seul établit les contrats dont dépendent les prix à pratiquer dans une distribution : le Conseil d'Etat ne proteste pas contre cette affirmation du concessionnaire : il déclare seulement que si le maire a commis un excès de pouvoir, c'est par la voie du recours que le concessionnaire aurait dû agir... Or les délais de ce recours devant le Conseil d'Etat sont de deux mois à compter de la notification de l'acte incriminé et, en tout cas, le Conseil de Préfecture n'était point compétent pour statuer sur la légalité ou l'illégalité de l'arrêté du maire.

III. **Texte de l'arrêt.** — En ce qui concerne l'application contractuelle à la concession du requérant du cahier des charges type annexé au décret du 28 juin 1921 :

Considérant que si, dans le traité passé le 30 janvier 1920 entre le sieur Fouquet de Lusigneul et la commune de Rugles pour la distribution de l'énergie électrique dans ladite commune, les parties ont stipulé que la concession étant consentie aux conditions du cahier des charges annexé au contrat, des prescriptions de la loi du 15 juin 1906 et des *décrets intervenus ou à intervenir* en exécution de cette loi, cette dernière stipulation qui vise les règlements d'administration publique prévus par la loi du 15 juin 1906 pour son exécution ne peut être regardée comme contenant l'engagement pris à l'avance par les parties de substituer aux règles du cahier des charges de la concession le régime d'un nouveau cahier des charges type alors en préparation ;

En ce qui concerne l'application des dispositions de la loi du 27 février 1925 relatives à la révision des tarifs maxima de base et à la révision du terme correctif :

Considérant d'une part que, si aux termes de l'article 16 de la loi du 27 février 1925, la clause de révision des tarifs de base insérée dans l'article 11 du cahier des charges type des concessions communales approuvé par le décret du 28 juin 1921 est applicable à tous les tarifs de vente de l'énergie électrique fixés par les traités antérieurs, cette clause ne donne aux parties le droit de provoquer ladite révision que dans des cas limitativement déterminés ; qu'il n'est pas allégué par le requérant et qu'il ne résulte pas de l'instruction que l'une des hypothèses énumérées par ledit article 11 soit réalisée dans l'espèce ;

Considérant d'autre part que si, par application de l'alinéa 2 de l'article 16 précité de la loi du 27 février 1925 le terme correctif des tarifs maxima de base qui a été stipulé dans le cahier des charges de la concession accordée en 1920 par la commune de Rugles au requérant est soumis à la révision périodique, il ressort dudit texte de la loi que la première révision de ce texte aura lieu lors du premier avenant apportant une modification quelconque au traité de concession et au plus tard le 15 juin 1936 ; qu'il résulte de l'instruction que, depuis la promulgation de la loi du 27 février 1925, aucun avenant n'a été passé entre la commune et le requérant ;

Considérant qu'il suit de là que le requérant n'est pas fondé à exiger qu'il soit procédé à la révision soit des tarifs de base soit du terme correctif stipulé dans son contrat de concession ;

En ce qui concerne le montant de la somme due au requérant par la commune de Rugles pour arriéré de fournitures :

Considérant qu'il n'est pas contesté par le sieur Fouquet de Lusigneul que la somme de 8 140,64 fr, que la commune a été condamnée par le Conseil de Préfecture à lui payer, a été calculée en décomptant les fournitures de courant électrique faites à la commune aux prix qui résultaient des stipulations du cahier des charges annexé au traité du 30 janvier 1920, stipulations qui comme il vient d'être dit étaient seules applicables, que dès lors le requérant n'est pas fondé à soutenir que ce soit à tort que le Conseil de Préfecture a réduit à ladite somme de 8 140 fr celle de 9 030 fr qu'il réclamait ;

En ce qui concerne les conclusions du requérant tendant à faire déclarer illégal l'arrêté du 28 octobre 1925 par lequel le maire de Rugles a fixé les prix de vente du courant électrique aux particuliers et aux services publics :

Considérant que, d'une part, s'il appartenait au Conseil de Préfecture d'apprécier l'atteinte que l'arrêté du maire aurait pu porter aux droits que le sieur Fouquet de Lusigneul tenait du contrat de concession, ledit conseil, contrairement à ce que soutient le requérant, était incompétent pour statuer sur la légalité de l'arrêté précité ; que, d'autre part, le sieur Fouquet de Lusigneul ne justifie pas d'un recours formé devant le Conseil d'Etat contre l'arrêté dont il s'agit dans le délai de deux mois fixé par l'article 24 de la loi du

13 avril 1900 ; que dès lors il n'est pas recevable à demander au Conseil d'Etat de déclarer illégal ledit arrêté ;

En ce qui concerne la demande en dommages-intérêts formée par le requérant à raison du préjudice que lui aurait causé l'arrêté du maire fixant le prix de vente du courant ;

Considérant qu'il résulte de ce qui a été dit précédemment que le sieur Fouquet de Lusigneul n'était pas en droit d'exiger l'application de prix supérieurs à ceux des tarifs maxima déterminés conformément au cahier des charges annexé à son traité de concession ; qu'il allègue à la vérité que, même au regard des dispositions de ce cahier des charges, le tarif arrêté par l'autorité municipale était trop bas comme négligeant à tort certains éléments de majoration prévus par l'article 12 bis dudit cahier ; mais qu'il n'apporte aucune justification à l'appui de cette allégation ; que, dès lors le requérant n'établit pas qu'il ait subi un préjudice ; que, par suite, sa demande en dommages-intérêts n'est pas fondée ;

Décide : la requête du sieur Fouquet de Lusigneul est rejetée, le requérant condamné aux dépens.

Paul Bougault,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Décret promulguant les conventions signées à La Haye le 6 novembre 1925 en vue de modifier les conventions antérieures de Paris et de Madrid concernant le dépôt des dessins ou modèles industriels.

Voici le texte de ce décret du ministre des Affaires étrangères, en date du 5 octobre 1930 et publié au « Journal officiel » du 9 octobre, pages 11 493-11 500.

Article premier. — Le Sénat et la Chambre des Députés ayant approuvé :

Les conventions signées à La Haye le 6 novembre 1925 en vue de modifier : 1° la convention d'union de Paris du 20 mars 1883 relative à la protection internationale de la propriété industrielle ; 2° l'arrangement de Madrid du 14 avril 1891 concernant la répression des fausses indications de provenance sur les marchandises ; 3° l'arrangement de Madrid du 14 avril 1891 pour l'enregistrement international des marques de fabrique et de commerce

et l'arrangement international signé à La Haye le 6 novembre 1925 concernant le dépôt des dessins ou modèles industriels,

et la France ayant adhéré le 9 septembre 1930 (1) à ces accords dont la teneur suit, ils recevront leur pleine et entière exécution.

Les accords dont il est question dans le décret sont reproduits en annexes. Ce sont :

1° Convention d'union de Paris du 20 mars 1883 pour la protection de la propriété industrielle, revisée à Bruxelles le 15 décembre 1900, à Washington le 2 juin 1911 et à La Haye le 6 novembre 1925 ;

2° Arrangement de Madrid du 14 avril 1891 concernant la répression des fausses indications de provenance sur les marchandises, revisé à Washington le 2 juin 1911 et à La Haye, le 6 novembre 1925 ;

3° Arrangement de Madrid du 14 avril 1891 concernant l'enregistrement international des marques de fabrique ou de commerce, revisé à Bruxelles le 14 décembre 1900, à Washington le 2 juin 1911 et à La Haye le 6 novembre 1925 ;

4° Arrangement de La Haye du 6 novembre 1925 concernant le dépôt international des dessins ou modèles industriels.

(1) Loi portant approbation des conventions concernant la propriété industrielle signée à La Haye le 6 novembre 1930. *Revue générale de l'Electricité*, 11 octobre 1930, t. XXVIII, p. 592.

Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux sur les excédents de recettes provenant de la vente de l'énergie électrique.

Le « Journal officiel » du 16 septembre 1930 publie, page 3196 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

9236. — M. Joseph Paganon expose à M. le ministre du Budget : *a*) qu'une commune qui possédait une usine électrique a loué cette usine à une société qui doit lui fournir gratuitement comme prix de ferme 150 ch l'hiver et 300 ch l'été en énergie électrique ; *b*) que cette commune cède à ses habitants ce courant qui, en fait, est sa propriété et demande : 1° si cette commune doit être tenue de présenter chaque année une situation des recettes et des dépenses afférentes à ce chapitre ; 2° si l'excédent des recettes sur les dépenses donne lieu à une déclaration sur les bénéfices commerciaux et industriels en vue de l'impôt de 15 pour 100, cet excédent étant versé chaque année dans le budget communal. (Question du 6 juin 1930.)

Réponse. — 1° Réponse affirmative en ce qui concerne l'établissement de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux ; 2° réponse affirmative.

Sur les cotisations aux assurances sociales des ouvriers algériens travaillant temporairement en France.

Le « Journal officiel » du 16 septembre 1930 publie, page 3213 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

9839. — M. Jules Molle demande à M. le ministre du Travail si les ouvriers indigènes algériens, qui travaillent temporairement en France, sont tenus de verser leur cotisation pour les assurances sociales, alors qu'ils ont bien l'intention de retourner en Algérie (où la loi des assurances sociales n'est pas appliquée), dès que possible, et qu'ils ne pourront, de ce fait, profiter en aucune façon, en retour du payement de ces cotisations, des avantages assurés par la loi aux ouvriers assujettis et demeurant en France. (Question du 11 juillet 1930.)

Réponse. — Réponse affirmative. Les assurés qui cessent d'être soumis à l'assurance conservent en tout état de cause le bénéfice des rentes correspondant aux versements portés à leur compte individuel d'assurance-vieillesse.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 21. — 22 NOVEMBRE 1930.

Chronique. — A propos du langage technique et du choix des notations, p. 801. — Bibliographie : Geschichtliche Einzeldarstellungen aus der Elektrotechnik (Exposé de quelques faits historiques de l'électrotechnique), par ELEKTROTECHNISCHER VEREIN, p. 802 ; Radiotechnik : Die elektrischen Wellen (Radiotechnique : Les ondes électriques), par F. KIEBITZ, p. 802 ; Schaltung und Regelung elektrischer Heizeinrichtungen (Montage et réglage des dispositifs de chauffage électrique), par W. SCHULZ, p. 802 ; L'art de bâtir une maison agréable et saine, par Edmond MARCOTTE, p. 802.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (septembre 1930), p. 803.

Section scientifique et technique. — Les métadynes entre elles et leurs dérivées, par J.-M. PESTARINI, p. 813. — Revues, analyses et informations : La puissance en courant continu du redresseur à cathode incandescente, p. 821 ; Les molécules polaires et leur contribution aux pertes d'énergie dans les diélectriques, p. 822.

Section industrielle. — La sous-station automatique Bergerie de la Société d'Eclairage électrique de Cannes, par L. DOURCHE, p. 823. — Revues, analyses et informations : Effets des surtensions dues à la foudre sur des machines rotatives et méthodes de protection contre ces surtensions, p. 834.

Section de législation. — Le projet de réforme de la loi sur les marques de fabrique, par FERNAND-JACQ, p. 835. — Législation, jurisprudence, réglementation : Réglementation concernant les taxes internationales d'enregistrement des marques de fabrique ou de commerce, p. 839 ; Arrêté rapportant l'arrêté du 7 mai 1915 relatif à l'envoi au Bureau international de la Propriété industrielle des enveloppes doubles spéciales pour la constatation de la priorité de création des dessins et modèles, p. 839 ; Sur la patente spéciale des fournisseurs aux administrations publiques, p. 840 ; Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices dus par les sociétés dont l'exercice est à cheval sur deux années, p. 840 ; Sur la non-possibilité de retrancher du revenu général la taxe sur les automobiles, p. 840.

A propos du langage technique et du choix des notations. — Un de nos lecteurs, professeur de l'Enseignement technique, nous adresse une lettre que lui dicte le désir de voir les auteurs un peu plus respectueux des règles admises et des conventions adoptées en ce qui concerne la signification des termes techniques et le choix des notations. Sans préciser le titre de l'ouvrage auquel notre correspondant fait allusion, nous croyons utile de relever les points visés. D'abord la notation t représente, dans cet ouvrage, tantôt une valeur instantanée du temps, tantôt la période du courant alternatif, qui doit être désignée par le symbole T. Une confusion fâcheuse aussi est celle qui existe entre les valeurs instantanées de la tension et du courant et leurs valeurs efficaces, les premières étant toujours représentées, dans le cours de l'ouvrage, par u et i, ce qui est conforme à la règle, les secondes, soit par u_{eff} et i_{eff}, soit, lorsqu'il s'agit de distinguer les grandeurs simples et les grandeurs composées, par u et i, pour les premières et par U et I, pour les secondes, dans les deux cas, sans indices.

« Il est certain, ajoute notre correspondant, que nous hésitons à recommander certains ouvrages, comme celui sur lequel j'ai appelé votre attention, à nos étudiants à cause de l'emploi qui y est fait de notations anormales qui leur en rendraient la lecture difficile et ruineraient les efforts que nous faisons pour les habituer aux notations usuelles. »

Si nous signalons ces hérésies d'écriture, c'est moins pour incriminer tel ouvrage et son auteur que pour attirer l'attention de tous les auteurs sur la nécessité de conformer leur terminologie et leurs notations aux règles admises ; la fantaisie dans le choix des termes techniques et des symboles nuit à la clarté du texte ; elle dénote chez l'auteur, sinon l'ignorance des conventions, au moins une insouciance à l'égard d'une question que trop de techniciens considèrent comme secondaire, parce que ce n'est qu'une question de forme ; et cependant la forme pour celui qui écrit a son importance : le lecteur le juge. Si nous en revenons aux exemples relevés par notre correspondant, et qui ne sont malheureusement pas les seuls que nous pourrions citer, on se rend facilement compte des erreurs d'interprétation qui peuvent résulter d'un choix maladroit de notations.

Nous saisissons cette occasion pour rappeler qu'en ce qui concerne notamment le domaine de l'électricité, celui qui nous intéresse ici, il existe un tableau de symboles adoptés par la Commission électrotechnique internationale qui en recommande l'emploi depuis 1913. De plus, ce tableau est accompagné de règles concernant les grandeurs électriques et suivant les-

quelles les symboles des grandeurs doivent être en lettres italiques (R, r, par exemple), les valeurs instantanées étant représentées par des minuscules, les valeurs efficaces ou constantes, par des lettres majuscules sans indices et les valeurs maxima des grandeurs électriques et magnétiques périodiques, par des lettres majuscules affectées de l'indice m.

Etablies précisément pour éviter les confusions que nous signalons plus haut et pour faciliter la lecture des ouvrages et des publications techniques, ces règles ne peuvent atteindre ces buts que si chacun s'y conforme scrupuleusement. — A. C.

Bibliographie : Geschichtliche Einzeldarstellungen aus der Elektrotechnik (Exposé de quelques faits historiques de l'électrotechnique); par Elektrotechnischer Verein (1). — L'Elektrotechnischer Verein a jugé utile de réunir et de publier des documents relatifs au développement des diverses branches de l'électrotechnique à partir de l'origine des applications industrielles de l'électricité. Le premier volume de cette publication contient d'abord une étude de L. Schüler sur l'histoire du transformateur; les premières tentatives de l'application du phénomène d'induction au réglage de la tension datent de 1877, époque à laquelle Jablochkoff proposa d'utiliser les bobines d'induction pour l'alimentation des bougies électriques qu'il venait de créer. Après avoir rappelé la mise au point de cette première solution par Gaulard et Gibbs, l'auteur traite des perfectionnements successifs apportés dans la conception et la construction des transformateurs statiques, en citant les principaux électriciens qui ont participé à ce développement.

Dans cette publication, sont également reproduites deux conférences de Gisbert Kapp, l'une faite en 1888, sur le rapport des poids de cuivre et de fer dans les transformateurs, l'autre, en 1895, sur la détermination de la chute de tension dans les transformateurs (exposé de la question bien connue sous le nom de « diagramme de Kapp »); puis une conférence de von Dolivo-Dobrowolsky, faite en 1892 sur le rendement du transformateur.

Dans un dernier chapitre, W. Stumpner expose l'histoire des compteurs d'énergie électrique ou de quantité d'électricité.

Il n'est pas douteux qu'une telle publication est appelée à rendre de grands services en rappelant ce qui a été fait depuis près de 50 ou 60 ans dans le domaine de l'électrotechnique, en précisant les conceptions des électriciens de l'époque et en montrant ainsi que bien des points, encore à l'étude aujourd'hui, avaient déjà retenu leur attention. — A. C.

Bibliographie : Radiotechnik : Die elektrischen Wellen (Radiotechnique : Les ondes électriques), par F. Kiebitz, professeur à l'Université de Berlin, chef de la Division « Télégraphie sans fil » du Reichspostzentralamt (2). — Ce volume, constituant le sixième relatif à la radiotechnique de la collection Göschen, est consacré à l'étude des ondes électromagnétiques, notamment au point de vue de leur application aux télécommunications. Après avoir défini la nature de ces ondes en traitant notamment des expériences de Hertz, l'auteur aborde l'examen du rayonnement à l'émission et de la réception, ce qui le conduit à définir le fonctionnement des antennes.

La propagation de ces ondes fait également l'objet d'un exposé au cours duquel sont envisagées successivement l'influence de la surface de la Terre et celle de l'atmosphère, tandis que le dernier chapitre est consacré aux ondes dirigées.

En condensant en quelque 100 pages la théorie des ondes électromagnétiques, l'auteur a été contraint à réduire les développements mathématiques; il ne donne que les formules simples qui permettent d'interpréter les phénomènes étudiés, au moins dans une première approximation, et les accompagne de considérations d'ordre expérimental et parfois d'applications numériques. Cette concision ne nuit d'ailleurs pas à la clarté du texte de cet ouvrage qui s'adresse non seulement aux ingénieurs et aux étudiants, mais encore à tous les amateurs de télégraphie ou téléphonie sans fil possédant des notions de physique en général et d'électricité, en particulier. — A. C.

Bibliographie : Schaltung und Regelung elektrischer Heizeinrichtungen (Montage et réglage des dispositifs de chauffage électrique), par W. Schulz (1). — Il s'agit d'un recueil de schémas de connexions entre divers appareils de chauffage, la ligne et, éventuellement, l'appareil de protection, de réglage ou de signalisation; ces schémas sont accompagnés de commentaires. L'auteur considère spécialement des cas présentant quelque complication : il montre, par exemple, comment un appareil connecté sur un réseau triphasé peut être relié, par un jeu d'inverseurs, à un réseau à courant monophasé ou continu

A propos des régulateurs de chauffage, il considère des modèles bien définis, de construction allemande, dont il explique le fonctionnement. — A. C.

Bibliographie : L'art de bâtir une maison agréable et saine, par Edmond Marcotte, chef de la section des Laboratoires d'Essais de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées (2). — Cet ouvrage donne des indications précises et motivées sur les conditions à remplir pour bâtir une maison ou un groupe d'habitations, dans les diverses circonstances qui peuvent se présenter pratiquement. Il s'attache particulièrement au plan, à la distribution des locaux, à l'organisation des pièces, à l'orientation, à l'hygiène et à l'assainissement des maisons et des terrains, ainsi qu'aux divers services indispensables aux cités et aux immeubles modernes : distribution d'eau, évacuation des matières usées, éclairage, chauffage, ventilation, réfrigération, conservation des denrées. Un certain nombre d'exemples bien choisis, hôpitaux, écoles, immeubles, maisons de campagne, fermes, cités-jardins et logements ouvriers achèvent de préciser la pensée de l'auteur.

Des annexes techniques relatives aux essais des matériaux, aux divers modes de chauffage, notamment le chauffage électrique, etc., donnent de précieuses indications sur les progrès en ces diverses branches. Un dernier chapitre est consacré à la législation en la matière. — R. L.

(1) Un volume, format 24 cm × 16 cm, de 98 pages, avec 35 figures dans le texte, édité par la librairie Julius Springer, 23-24, Linkstrasse, Berlin W. 9. Prix : broché, 6 marks; relié, 7 marks.

(2) Un volume, format 16 cm × 11 cm, de 125 pages avec 28 figures dans le texte, édité par la librairie Walter de Gruyter Cie, Genthiner strasse 38, Berlin. Prix : relié, 1,50 marks.

(1) Une brochure, format 21 cm × 15 cm, de 88 pages et 1 tableau hors texte, édité par la librairie Schubert et Cie, à Berlin-Charlottenburg. Prix : broché, 2,50 marks.

(2) Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 572 pages, avec 274 figures dans le texte et de nombreux tableaux, édité par la librairie polytechnique Ch. Béranger, 15, rue des Saint-Pères, à Paris (6e). Prix : relié, 95 fr.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique (Septembre 1930)

Ainsi que nous l'avons annoncé dans notre précédent numéro (*), nous commençons la publication des résumés des rapports présentés aux séances de travail de ce Congrès, du 5 au 10 septembre, et le compte rendu des discussions qui en suivirent l'exposé. La subdivision que nous adopterons est celle même appliquée dans l'organisation de ces séances de travail, les titres généraux étant ceux qui figurent sur les fascicules distribués aux membres du Congrès. Les premières questions sont d'ordre essentiellement technique (construction, disposition pour la permanence du service, mise à la terre du neutre, couplage en parallèle, influence des lignes de transmission sur les circuits téléphoniques); les suivantes concernent spécialement l'exploitation (propagande, tarification et compteurs, dangers des courants, statistiques).

I. Perfectionnements apportés à l'équipement des usines génératrices thermiques

Cette question a fait l'objet de huit rapports traitant respectivement de problèmes particuliers tels que celui du dépoussiérage des fumées de chaudières et celui de l'unification des fréquences, ou décrivant les installations d'usines génératrices présentant un caractères nouveau; parmi ces derniers, nous mentionnerons le rapport de M. Dessus, relatif aux nouvelles installations réalisées par la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité à son usine d'Issy-les-Moulineaux. Ce sujet ayant fait l'objet d'une série d'articles publiés dans cette revue (1), nous ne donnons pas ici l'analyse du rapport de M. Dessus, nous bornant à renvoyer nos lecteurs aux articles précités.

I. **Les derniers progrès dans la construction des grandes centrales thermiques.** Rapport général de Léopold Herry, administrateur, directeur général des Centrales électriques des Flandres et du Brabant.

Dans ce rapport de quatre pages de texte, M. Herry résume les rapports que nous analysons plus loin et qui se classent en deux catégories, l'une relative à la description des grandes usines génératrices modernes, l'autre à des questions particulières comme le dépoussiérage des fumées et l'unification des fréquences.

L'exposé de ce rapport a été suivi d'une séance de projections fixes et cinématographiques des diverses installations dont il est question dans les rapports précités.

II. **Unification de la fréquence dans la région parisienne.** Rapport de P. Rieunier, ingénieur à l'Union d'Electricité.

Dans ce rapport de quinze pages de texte avec trois figures et deux tableaux dans le texte, M. Rieunier expose les diverses difficultés rencontrées au cours des opérations d'unification de la fréquence sur les réseaux de la région parisienne en se plaçant au point de vue du distributeur. Ces opérations correspondent à un changement sur les réseaux à 25 p:s de 16200 machines représentant une puissance totale de 77 000 ch, à l'adaptation sur les réseaux à 41,2/3 p:s de 57 400 moteurs représentant une puissance de 331 500 ch et enfin à la transformation de 14 machines développant au total une puissance de 819 ch.

1. But de l'unification. — Le but de l'unification de la fréquence à 50 p:s résidait dans la possibilité d'interconnecter les réseaux français et leurs usines génératrices afin d'aboutir à une exploitation aussi rationnelle qu'économique au point de vue national. En 1919, le remplacement du matériel des usines génératrices de la région parisienne s'imposait et les progrès réalisés dans la construction des turboalternateurs de grande puissance rendaient intéressante la construction d'usines génératrices de grande puissance. C'est alors que fut créée l'Union d'Electricité, société ayant pour but d'exploiter les usines anciennes et de les remplacer successivement par des usines de grande puis-

(*) Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. *Revue générale de l'Electricité*, 15 novembre 1930, t. XXVIII, p. 765-770.

(1) L. Vellard; Les usines génératrices de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité. *Revue générale de l'Electricité*, 19 et 24 mai 1930, t. XXVII, p. 775-786 et 819-830.

Les récents travaux d'extension de l'usine d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité. *Revue générale de l'Electricité*, 7, 14, 21 et 28 juin 1930, t. XXVII, p. 908-916, 947-954, 991-998 et 1025-1034. — Les chaudières de l'usine génératrice d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité. *Revue générale de l'Electricité*, 18 octobre 1930, t. XXVIII, p. 612-620.

sance (Gennevilliers et Vitry)] destinées à être reliées aux usines hydroélectriques du Massif central.

D'autre part, la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité, dont les attributions de producteur et de distributeur sont limitées aux réseaux de la ville de Paris même, conservait ses usines, mais les agrandissait et modifiait son matériel pour porter la fréquence de 41,2/3 p:s à 50 p:s; l'interconnexion du réseau de cette compagnie avec celui de l'Union d'Electricité est déjà réalisée en partie.

L'Union d'Electricité a entrepris en 1919 l'unification de la fréquence sur les réseaux ayant pour toute base administrative les « encouragements » des pouvoirs publics et n'ayant, par ailleurs, aucune base juridique.

2. Modification de la formule d'exploitation. — L'unification de la fréquence a conduit à modifier les conditions de réglage de la tension adoptées initialement sur chaque réseau et il a été nécessaire de trouver une formule de réglage qui fût un compromis entre les différents réglages adoptés par chacun des distributeurs et qui ne puisse donner lieu à des réclamations de la part des abonnés, soit au point de vue de l'éclairage, soit au point de vue de la force motrice.

3. Travaux chez les abonnés. — Les travaux de transformation ont été exécutés sur les bases d'une stricte équité, c'est-à-dire qu'après le changement de fréquence ni l'abonné ni le distributeur ne devaient réaliser ni gain ni perte dans l'opération. Par exemple, en cas de changement de moteur, la nouvelle machine devait non seulement assurer le même service que l'ancienne, mais aussi lui être équivalente comme degré de vétusté ou de neuf, valeur du rendement, facilité d'entretien, etc. En outre, elle devait assurer le même service avec la même consommation tant d'énergie active que d'énergie réactive. Ces divers points ont parfois soulevé quelques difficultés dont l'auteur indique la résolution, en particulier pour le changement de la fréquence des groupes de secours.

4. Ascenseurs. — L'auteur s'étend sur la question de la transformation des moteurs d'ascenseurs, en raison des questions juridiques soulevées à ce propos et des responsabilités encourues. En effet, un ascenseur est un engin qui doit fonctionner dans des conditions de sécurité étroites et le propriétaire de l'immeuble qui en est pourvu assume des responsabilités multiples.

Le passage de la fréquence de 25 p : s à la fréquence de 50 p : s s'est opéré sans difficulté ; le nombre d'appareils en service à cette fréquence était restreint et il a suffi de doubler le nombre de pôles des moteurs et de rebobiner les électroaimants d'appareillage.

Au contraire, le passage de la fréquence 41 2/3 p:s à celle de 50 p: s a dû être réalisé sur plusieurs milliers d'ascenseurs. Dans ce cas, la vitesse du moteur est augmentée de 20 pour 100 ; sa puissance est donc accrue de 20 pour 100, la charge restant constante. Si le couple reste constant au démarrage, l'accélération augmente ainsi que l'intensité du courant absorbé, d'où risque de fusion des coupe-circuit.

Le cas s'est souvent présenté d'un ascenseur en état de fonctionnement suffisant, mais dont certaines parties, comme les organes de commande, risquaient de mal fonctionner à la fréquence de 50 p : s en raison de leur vétusté. Dans ce cas, la solution à adopter est le remplacement pur et simple de ces organes malgré le coût de cette opération ; la mise au point des anciens organes pour fonctionner à la nouvelle fréquence peut exiger une durée assez longue et provoquer des réclamations et un retard dans la mise au point des autres ascenseurs intéressés par le même câble de distribution.

On a aussi rencontré des appareils trop anciens pour satisfaire aux règles modernes de sécurité ou en trop mauvais état d'entretien pour continuer à fonctionner sans danger. Cette situation soulève des difficultés. Le distributeur, en effet, lorsque les frais d'unification de la fréquence lui incombent, ne peut prendre à sa charge que l'adaptation du matériel et son fonctionnement correct à la nouvelle fréquence et doit décliner toute responsabilité quant au non fonctionnement des organes de sécurité.

5. Point de vue administratif. — L'auteur termine par un exposé des dispositions adminisratives tendant à diminuer les frais occasionnés par l'unification de la fréquence ; il reproduit à ce sujet un passage de l'arrêté de M. le préfet de la Seine, en date du 16 mars 1922 spécifiant que les frais de mise à la fréquence de 50 p : s sur les installations réalisées de 1922 à 1930 incomberaient aux usagers.

III. La nouvelle centrale de la Chade à Buenos-Ayres. Rapport de la Société financière de Transports et d'Entreprises industrielles.

Ce rapport comporte douze pages de texte avec cinq figures dans le texte et une planche hors texte.

1. Généralités. — La création de la nouvelle usine génératrice thermique de la Chade a été motivée par la progression rapide de la demande d'énergie électrique dans la ville de Buenos-Ayres et sa banlieue.

Etablie sur un terrain d'une superficie d'environ 14 hectares, dont une partie appartient au lit du Rio de la Plata, et située au voisinage du port de Buenos-Ayres, l'usine de la Chade, prévue pour une puissance installée de 600 000 kw, comporte actuellement deux groupes turboalternateurs d'une puissance totale de 105 000 kw fournissant au réseau urbain du courant triphasé à 27 500 v à la fréquence de 50 p : s.

L'étude de cette usine, dont l'entreprise a été confiée à la Société financière de Transports et d'Entreprises industrielles, a été faite en s'inspirant des conceptions en faveur aux Etats-Unis. En tenant compte du prix de revient des machines et des prix pratiqués à Buenos-Ayres pour les charbons, il a été reconnu que la solu-

tion la plus intéressante consistait à utiliser pour les turbines une pression de vapeur de 38,68 kg : cm² avec réchauffage intermédiaire de la vapeur à 410°C et à équiper les chaudières au charbon pulvérisé en adoptant des foyers à écrans d'eau système Murray.

Le débit du Rio de la Plata étant susceptible de devenir très faible et le sens du courant d'eau pouvant même être inversé, il a été nécessaire d'éloigner le plus possible la prise d'eau de condensation de l'endroit où les eaux font retour à la rivière, afin d'éviter un mélange d'eau chaude et d'eau froide. De plus, la température de l'eau peut varier entre 6°C et 35°C. Enfin il peut se produire des différences atteignant plus de 7 m entre le niveau des hautes eaux et le niveau des basses eaux. A cet égard, la salle des machines a été établie sur un radier général pouvant résister aux efforts de poussée dus aux différences de niveau.

La superstructure des bâtiments est constituée par une ossature métallique avec murs extérieurs en maçonnerie, avec un poids total de charpentes atteignant 8 500 t. L'infrastructure est en béton armé avec piliers reposant sur des semelles également en béton.

2. Manutention du combustible. — On a prévu l'aménagement d'un parc à charbon d'une capacité de 100 000 t recevant le charbon déchargé des navires au moyen de portiques à bras relevable et à flèche pivotante et susceptibles de décharger 100 à 150 t de charbon par heure. Des courroies transporteuses amènent le charbon au parc ou directement à la centrale de pulvérisation.

La reprise du charbon au parc et sa mise en tas s'effectuent au moyen de grues à grappin.

Toutes les précautions sont prises pour éviter la production des poussières. A cet effet, on a prévu une pulvérisation d'eau autour des points où tombe le charbon; de plus, il est possible d'arroser le charbon entreposé dans le parc afin d'éviter en cas de vent violent la formation de nuages de poussières.

3. Centrale de pulvérisation. — La pulvérisation du charbon s'effectue suivant le système Lopulco et l'installation réalisée permet de traiter 45 t de charbon à l'heure.

Le charbon pris au parc est entreposé dans des silos d'une capacité d'environ 200 t placés à la partie supérieure de la centrale de pulvérisation. A la sortie de ces silos, le charbon est pesé automatiquement, puis séché au moyen de sécheurs à vapeur comportant une série de plateaux superposés, chauffés à la vapeur et maintenus en rotation, tandis que des raclettes assurent la circulation d'un plateau à un autre.

Après pulvérisation, le charbon est envoyé dans des silos intermédiaires d'où il est repris par des pompes Fuller-Kynion, d'un débit de 70 t : h, pour être envoyé aux silos à charbon pulvérisé de la chaufferie.

4. Chaufferie. — La chaufferie contient actuellement huit chaudières Babcock et Wilcox pour une pression de 45,7 kg : cm² et une température de vapeur de 425°C, dont deux chaudières avec réchauffeurs intermédiaires. La surface de chauffe des premières est de 1430 m² et leur puissance de vaporisation peut atteindre 72 kg par mètre carré de surface de chaudière, soit 103 t de vapeur à l'heure, en pointe; la production horaire de vapeur pour la marche économique est de 66 t.

Ces chaudières sont munies de surchauffeurs de 503 m² de surface, d'économiseurs de 1028 m² et de réchauffeurs d'air de 2509 m².

Le réchauffeur intermédiaire des deux chaudières qui en sont pourvues présente une surface de 1 780 m² et permet de réchauffer 200 t de vapeur à l'heure, de 250°C à plus de 400° C, ce qui procure une économie d'environ 6 pour 100 dans la consommation de la vapeur.

La température de l'eau d'alimentation est de 140°C, l'eau condensée des turbines étant réchauffée au moyen de prélèvements de vapeur.

Les moteurs des ventilateurs d'air de combustion et de tirage sont à vitesse variable par variation de résistance du circuit du rotor. Les distributeurs de charbon pulvérisé sont entraînés par des moteurs à courant continu à vitesse réglable.

Les chambres de combustion des chaudières sont munies de murs et de grilles d'eau; elles comportent une trémie à cendres avec vannes d'écoulement débouchant dans des caniveaux ménagés dans le radier de la chaufferie où circule un courant d'eau qui amène les cendres dans un bassin de décantation. Elles sont alors reprises par un monorail à grappin pour être mises sur wagon ou bien aspirées par des pompes spéciales qui les transportent dans des chalands ou les déversent sur des terrains à remblayer.

5. Groupes turboalternateurs. — Le bâtiment actuel, construit pour recevoir quatre groupes turboalternateurs, renferme deux groupes construits par la General electric Company et mis en service en décembre 1928.

Les turbines sont à deux corps avec réchauffage intermédiaire de la vapeur à 410°C et quatre prélèvements de vapeur sur le corps à basse pression aux 12e, 16e, 20e et 23e étages pour le réchauffage de l'eau d'alimentation. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

Puissance en régime permanent.....	52 500 kw
Vitesse.....	1 500 t : mn
Pression de la vapeur à l'admission....	38,5 kg : cm²
Température de la vapeur.....	400°C

Les condenseurs des turbines sont du système Worthington, type horizontal, en deux parties et d'une surface de 4 888 m² avec éjecteur à vapeur.

A chaque turbine sont accouplés : 1° un alternateur triphasé principal d'une puissance de 50 000 kw pour cos φ = 0,92, sous une tension de 13 200 v à la fréquence de 50 p : s; 2° un alternateur secondaire d'une puissance de 2 500 kw pour cos φ = 0,8 et une tension de 2 300 v pour l'alimentation des services auxiliaires; 3° deux excitatrices à 250 v pour les deux alternateurs.

Le refroidissement des alternateurs s'effectue par

circulation d'air en circuit fermé. Des réfrigérants branchés sur le circuit de l'eau de circulation des condenseurs sont intercalés sur le parcours de l'air de ventilation. Les pompes d'alimentation et de condensation sont entraînées par moteurs électriques pouvant être branchés sur deux sources différentes d'énergie et ces pompes sont prévues en double de telle sorte qu'en cas d'arrêt d'une pompe, l'autre démarre automatiquement.

6. Alimentation en eau des condenseurs. — Le débit d'eau de refroidissement de chaque condenseur atteint environ 15 000 m³ : h. Cette eau prise dans le Rio de la Plata passe à travers des claies filtrantes pourvues de dispositifs de nettoyage par jets d'eau et est conduite aux condenseurs au moyen de deux canaux.

Les pompes de circulation des condenseurs sont à axe vertical et ont un débit de 7500 m³ : h. Elles sont installées dans des locaux disposés le long de la salle des machines et à un niveau tel qu'elles reçoivent toujours l'eau en charge en dépit des variations du niveau du fleuve. Les moteurs d'entraînement sont des moteurs asynchrones triphasés à 2 300 v.

7. Poste de transformation de l'usine. — Afin de localiser les conséquences d'un court-circuit, l'usine a été divisée en six sections embrassant chacune deux groupes turboalternateurs de 54 400 kv-a. Il est possible d'assurer le service avec chacune des sections entièrement indépendante des autres ou bien de marcher avec certaines sections ou toutes les sections couplées en parallèle.

Dans chaque section d'usine, deux groupes transformateurs élévateurs de 54 000 kv-a, alimentés directement par les alternateurs à la tension de 13 200 v, débitent en parallèle sur une section des barres à 27 500 v, tension secondaire des transformateurs.

Le couplage d'une section avec la section suivante s'effectue sur les barres à 27 500 v, par l'intermédiaire de bobines d'inductance de barres ou directement sans l'emploi de bobines. Chaque dispositif de sectionnement se compose d'un jeu de bobines d'inductance avec un interrupteur dans l'huile, en série, et un interrupteur dans l'huile de shuntage. Le jeu de bobines d'inductance avec interrupteur dans l'huile en série doit pouvoir se placer sur l'un ou l'autre jeu de barres par la manœuvre de sectionneurs commandés électriquement de la salle des pupitres, et l'interrupteur de shuntage doit pouvoir se placer sur l'un ou l'autre jeu de barres par la manœuvre de sectionneurs commandés également électriquement à partir de la salle des pupitres.

Chaque section d'usine comprend, dans les barres à 27 500 v, les dispositifs de bouclage de barres avec interrupteur dans l'huile commandé de la salle des pupitres.

Chaque feeder de départ du poste à 27 500 v est muni d'un jeu de trois bobines d'inductance.

Tous les interrupteurs dans l'huile sont prévus pour pouvoir couper une puissance de 610000 kv-a; leurs contacts sont entourés d'une chambre d'explosion. Tous les sectionneurs principaux sont à commande électrique à distance.

IV. **Le groupement des centrales métallurgiques du bassin de Briey.** Rapport de A. Evain, directeur de la Société électrique de la Sidérurgie lorraine.

Ce rapport comporte vingt-quatre pages de texte avec quinze figures dans le texte.

1. Introduction. — Les avantages du groupement des usines génératrices sur l'étendue d'un territoire ne sont plus à démontrer au point de vue de la sécurité de service et de la réalisation des conditions de fonctionnement les plus économiques des machines génératrices. A cet égard, en France comme dans tous les pays du monde, un effort considérable est accompli pour construire des lignes de plus en plus longues avec des tensions de plus en plus élevées; mais un groupement d'usines génératrices ne suppose pas seulement l'interconnexion des réseaux qu'elles desservent, mais aussi leur marche en parallèle permanente et, au point de vue économique, l'existence d'accords commerciaux codifiant les échanges d'énergie. Toutefois, ainsi que l'expose l'auteur, la réalisation de tels accords donne lieu à des difficultés en raison de la complexité des tarifs de l'énergie achetée ou vendue, de l'importance des intérêts en jeu et enfin des difficultés inhérentes à l'adhésion stricte aux disciplines d'ordre technique imposées dans l'intérêt général des adhérents au groupement, notamment la stricte observance des ordres du répartiteur.

Il va de soi que les tarifs doivent, dans un groupement, être établis de manière que, quelles que soient les décisions prises par le répartiteur, l'intérêt de l'adhérent ne soit jamais lésé; il existe à cet effet deux moyens : ou bien faire en sorte que l'intérêt de l'adhérent coïncide à chaque instant avec l'intérêt du groupement, ou bien appliquer à chacun d'eux une formule de répartition et de tarification qui, en rémunérant équitablement le service rendu de part et d'autre, les mette entre eux sur un pied d'égalité.

La première formule conduit à un groupement coopératif et a été appliquée avec succès en Belgique par l'Union des Centrales de Liége; la seconde est plutôt une formule de comptoir et est appliquée dans le midi de la France par l'Union des Producteurs d'Electricité des Pyrénées occidentales (U.P.E.P.O.) (1). La Société électrique de la Sidérurgie lorraine participe de l'une

(1) J. Maroger; L'utilisation des grands réseaux de transmission et l'Union des Producteurs d'Electricité des Pyrénées occidentales. Communication présentée à la séance commune du 29 avril 1927 de la Société des Ingénieurs civils de France et de la Société française des Electriciens et analysée dans la *Revue générale de l'Electricité*, 21 mai 1927, t. XXI p. 810-812. — Sur l'utilisation des grands réseaux de transport. Rapport présenté au Congrès de Paris de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (juillet 1928) et analysé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 8 septembre 1928, t. XXIV, p. 350-351.

et de l'autre, fonctionnant en fait comme une société coopérative pour ses échanges intérieurs et en comptoir pour les fournitures faites en dehors du groupement.

2. Production de l'énergie dans une usine métallurgique. — En dehors du débit de gaz requis pour le chauffage des cowpers et des fours, un haut fourneau de 200 t peut produire par heure un volume de gaz d'au moins 16 000 m³, susceptible de produire 4 000 kw au moyen de moteurs à gaz et 3 000 kw au moyen de turbines à vapeur. Ce gaz doit être consommé au fur et à mesure de sa production, et la demande d'énergie des machines employées à la métallurgie, telles que les laminoirs, est essentiellement variable ; c'est alors qu'apparaissent les avantages que l'usine métallurgique peut retirer de la liaison de son usine génératrice d'énergie électrique avec des usines similaires de manière à céder les excédents d'énergie disponible ou, au contraire, à combler le déficit qui peut survenir aux époques où la charge électrique requise dépasse la valeur moyenne. De plus, il faut tenir compte qu'une usine métallurgique isolée ne disposant que du gaz de haut fourneau pour produire l'énergie électrique nécessaire à ses besoins ne peut sans installations spéciales et coûteuses se remettre en marche après un arrêt dans la production du gaz ; d'où l'avantage de disposer du courant provenant d'un réseau extérieur.

3. Le réseau de la Société électrique de la Sidérurgie lorraine. — Les usines métallurgiques du bassin de Briey sont échelonnées de Longwy à Jœuf, de part et d'autre d'une ligne affectant la forme d'un arc de cercle d'un rayon d'environ 25 km ; quinze sociétés métallurgiques groupent dans cette zone étroite 100 hauts fourneaux produisant dans leur ensemble 20 000 t de fonte par jour. L'auteur indique à ce sujet que si on rassemblait dans une canalisation unique la totalité du gaz qui s'échappe de ces hauts fourneaux après prélèvements de la quantité nécessaire à leurs besoins, on obtiendrait un débit de gaz de 1 600 000 m³ : h auquel correspondrait la production d'une puissance de 350 000 kw, soit une quantité d'énergie égale à 2,8 milliards de kilowatts-heures par an.

A la fin de l'année 1930, le réseau de la Société électrique de la Sidérurgie lorraine reliera entre eux les établissements de onze sociétés, comportant 70 hauts fourneaux dont la production en gaz correspondra à une puissance de 250 000 kw dont une partie sera disponible, l'autre devant couvrir les besoins des aciéries.

La société dispose, pour réaliser ces liaisons, de deux réseaux à 65 000 et à 30 000 v reliés entre eux par les postes de transformation de Landres et de Fontoy. Le réseau à 30 000 v alimente les mines de fer et assure la liaison, au moyen de groupes convertisseurs, des usines génératrices à courant continu. Les autres usines sont reliées au réseau à 65 000 v par l'intermédiaire de postes extérieurs. Une artère de liaison est prévue entre Landres et Revigny, qui assure une jonction aux usines du Jura et des Alpes, une autre artère entre Landres et Charleville réalisera l'interconnexion avec les usines génératrices de la région du nord de la France.

4. Exploitation du réseau de la Société électrique de la Sidérurgie lorraine. — Au 31 décembre 1929, avant la mise en exploitation des nouvelles usines à vapeur, le réseau reliait neuf usines disposant d'une puissance de 102 000 kw répartie en 47 machines dont 66 pour 100 de moteurs à gaz, 31 pour 100 de turbines à vapeur et 3 pour 100 de groupes convertisseurs, la puissance totale en jeu étant de 136 000 kw.

Le fonctionnement en parallèle des usines génératrices à moteurs à gaz semblait au début un problème d'une résolution extrêmement complexe en raison des constatations faites dans la marche isolée de ces usines, savoir : difficulté du maintien de la fréquence ; importance des échanges périodiques entre alternateurs en parallèle sur un même jeu de barres ; sécurité de marche rendue aléatoire par les arrêts fréquents des machines.

L'auteur analyse alors ces défauts, présentés par les moteurs à gaz, et montre comment la marche en parallèle des usines métallurgiques non seulement s'en est accommodée, mais encore les a atténués dans une large mesure, augmentant en particulier la régularité et la sécurité de la production.

La mise en parallèle d'un alternateur conduit par un moteur à gaz et un turboalternateur à vapeur remédie aux inconvénients dus à la variation de vitesse avec la charge présentée par le premier, et atténue les échanges périodiques que l'on observe quand plusieurs alternateurs entraînés par les moteurs à gaz fonctionnent en parallèle sur un même jeu de barres.

En ce qui concerne la fréquence des dérangements que peut subir un moteur à gaz en raison de la complexité de son mécanisme, l'auteur estime que la puissance admissible par unité génératrice ne doit pas dépasser 3 000 kw afin de limiter l'importance des dérangements. D'ailleurs, l'arrêt accidentel d'un moteur à gaz ne compromet pas la continuité de service de l'usine si celle-ci est reliée à un réseau susceptible de combler le déficit momentané qui résulte de l'arrêt.

L'expérience des cinq années d'exploitation du réseau de la Société électrique de la Sidérurgie lorraine a montré surabondamment que la marche en parallèle d'un réseau alimenté par des usines génératrices d'établissements métallurgiques était non seulement possible, mais encore pouvait assurer dans les conditions normales l'exploitation d'un réseau et rendre aux usines interconnectées les services que celles-ci pouvaient en attendre.

Cependant, la nécessité d'installer des turbines à vapeur fonctionnant en parallèle avec les moteurs à gaz posait le problème de savoir s'il était plus avantageux de transformer l'énergie calorifique du gaz des hauts fourneaux en énergie électrique par des turbines à vapeur plutôt que par des moteurs à gaz. C'est ce problème qu'étudie maintenant l'auteur et il aboutit à

la conclusion que, dans les usines génératrices modernes des établissements métallurgiques, les conditions les plus économiques de la production d'énergie électrique en partant du gaz de haut fourneau sont réalisées au moyen de turbines à vapeur alimentées par des chaudières chauffées normalement au gaz et au charbon pulvérisé pour la puissance supplémentaire requise à certaines périodes, notamment au cas où l'usine est appelée à prêter secours à une de celles auxquelles elle est interconnectée; ces conditions ne peuvent être réalisées économiquement avec les moteurs à gaz, comme le montre l'auteur d'après un exemple.

5. Résultats obtenus. — De 1924 à 1930, les ventes d'énergie de la Société électrique de la Sidérurgie lorraine ont passé de 22 413 055 kw-h à 133 184 866 kw-h.

Pendant l'année 1929, la production totale des usines génératrices interconnectées a été de 727 millions de kilowatts-heures sur lesquels la société a absorbé 17 pour 100. De plus, elle a reçu à titre d'échange ou d'appoint 6 millions de kilowatts-heures des usines métallurgiques luxembourgeoises et 6 500 000 kw-h des usines thermiques voisines.

V. **Les derniers progrès dans la construction des grandes centrales thermiques en Italie**. Rapport de Ettore Cesari, directeur de l'Unione nazionale fascista industrie elettriche.

Ce rapport de onze pages de texte, avec deux tableaux et un graphique dans le texte, contient des indications, d'une part, sur le rôle joué par les diverses usines génératrices thermiques italiennes vis-à-vis des usines hydroélectriques qui sont en majorité et, d'autre part, sur les caractéristiques particulières présentées par ces usines thermiques.

1. Le rôle des usines génératrices thermiques en Italie. — On sait qu'en Italie, l'énergie électrique est presque exclusivement produite dans les usines hydroélectriques, en raison, d'une part, des richesses naturelles dont dispose ce pays et, d'autre part, de la nécessité pour ce pays de s'affranchir des importations de combustible. Mais, comme le rappelait M. Dalla Verde dans son rapport présenté au Congrès de Paris de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, en 1928 (1), la construction d'usines génératrices thermiques en faible nombre, il est vrai, s'est imposée, pour constituer des réserves destinées à faire face, en partie, au déficit que présentent certaines usines lors des périodes de basses eaux quand elles ne peuvent, pour des raisons économiques, comporter de réservoirs. Tel est le cas des usines établies sur les cours d'eau des Alpes et des Apennins. C'est ainsi que l'usine thermique de Gênes supplée à l'insuffisance des usines des vallées des Alpes, bien que certaines de celles-ci possèdent des réservoirs importants permettant une compensation partielle; l'usine thermique de Turbigo (2) assurera la compensation de l'énergie sur les réseaux situés dans une partie de la Lombardie occidentale et dans le Piémont central et occidental; l'usine thermique du port de Venise (3) régularisant l'énergie du réseau de la Società adriatica di Elettricità (4). Il faut encore citer l'usine thermique de Plaisance, celle de Livourne et enfin celle de Naples à propos de laquelle l'auteur donne quelques renseignements sur les résultats d'exploitation entre les années 1926 et 1929.

Les résultats concernant l'usine de Naples qui assure la compensation de l'énergie sur le réseau de la Società meridionale di Elettricità sont consignés dans le tableau I.

Tableau I. — *Résultats d'exploitation de l'usine de Naples.*

ANNÉE	ÉNERGIE PRODUCTIBLE en kilowatts-heures	ÉNERGIE PRODUITE en kilowatts-heures	COEFFICIENT D'UTILISATION	DURÉES DE FONCTIONNEMENT en heures	PUISSANCE INSTALLÉE en kilowatts
1926.....	262 700 000	24 992 000	0,095	2 202	30 000
1927.....	262 700 000	43 499 000	0,166	3 270	30 000
1928.....	262 700 000	47 193 500	0,180	4 620	30 000
1929.....	295 900 000	15 703 000	0,053	5 287	45 000 (1)

(1) Seulement depuis octobre.

Les caractères communs à la plus grande partie des usines thermoélectriques italiennes sont le faible coefficient d'utilisation et la discontinuité de l'exploitation. Il est donc nécessaire de prendre des dispositions telles que durant les périodes d'activité de ces usines les machines fonctionnent à pleine charge, les fluctuations de la charge étant suivies par les usines hydroélectriques pourvues de réservoirs d'accumulation.

L'économie de combustibte qu'il est possible de réa-

(1) Congrès de Paris de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (juillet 1928). *Revue générale de l'Electricité*, 4 août 1928, t. XXIV, p. 174-176.

(2) *Loc. cit.* p. 175.

(3) L. Vellard; Les aménagements du nouveau port de Venise et l'usine génératrice thermique de la Società adriatica di Elettricità. *Revue générale de l'Electricité*, 25 août 1928, t. XXIV, p. 285-294.

(4) L. Vellard; Les installations hydroélectriques du Groupe « Società adriatica di Elettricità ». *Revue générale de l'Electricité*, 28 avril 1928, t. XXIII, p. 737-749.

liser en introduisant les perfectionnements les plus récents relativement au cycle thermique n'a pas l'importance relative qu'elle aurait pour des usines fonctionnant en régime continu en pleine charge; par contre, la dépense d'installation contribue pour une part plus considérable à influencer le prix de revient du kilowatt-heure.

2. TENDANCES TECHNIQUES ACTUELLES DANS LA CONSTRUCTION DES USINES GÉNÉRATRICES THERMIQUES ITALIENNES. — L'emplacement de l'usine est déterminé de manière à réduire les frais de transport du combustible et à disposer d'une quantité d'eau suffisante pour la condensation.

Le choix des combustibles dépend des conditions de fonctionnement de l'usine. Par exemple, le naphte est utilisé à l'usine de Naples, ce qui permet de réaliser une mise en service aussi rapide que possible avec possibilité néanmoins d'employer le charbon pulvérisé. En général, on prévoit le changement possible du genre de combustible et notamment l'emploi des combustibles nationaux.

Le transport du combustible s'effectue à l'aide d'engins mécaniques; l'enlèvement des cendres a lieu par wagonnets ou hydrauliquement.

Les chaudières sont, dans chaque usine, en petit nombre et à grande surface de chauffe: 1 200 m² à Venise et à Livourne et 2 000 m² à Turbigo et à Gênes. Elles comportent des économiseurs et des surchauffeurs; les foyers sont en général établis avec grille mécanique. En ce qui concerne la pression et la température de la vapeur, on n'a pas dépassé 35 kg : m² pour la pression aux chaudières et 450°C pour la température. La puissance des turboalternateurs n'a pas dépassé 30 000 kw.

Les caractéristiques des usines thermiques italiennes dont il a été question plus haut, sont rassemblées dans un tableau occupant les trois dernières pages du rapport.

VI. **L'unification des fréquences.** Rapport de Ed. DICKMANN, ingénieur en chef de la Compagnie auxiliaire d'Electricité.

Ce rapport de trente pages de texte, avec deux tableaux dans le texte, contient l'exposé des travaux d'unification de fréquence entrepris en Belgique et des méthodes d'application suivies à cet effet. Ces travaux ont porté sur le matériel des usines génératrices de Roux et de Pâturages, de la Société intercommunale belge d'Electricité et sur les usines d'Oisquercq, de la Société d'Electricité des Flandres et du Brabant, et d'Antoing, de la Compagnie auxiliaire d'Electricité, toutes ces usines installées initialement à la fréquence de 40 p : s devant fonctionner en définitive à la fréquence de 50 p : s.

Le problème de l'unification des fréquences peut être résolu de deux manières : soit en installant des groupes convertisseurs de fréquence, soit en modifiant complètement et progressivement les installations tant aux usines que chez les abonnés.

2. GROUPES CONVERTISSEURS DE FRÉQUENCE. — Ces groupes se classent en deux catégories : 1° Les groupes assurant une liaison rigide entre les réseaux à relier de manière à imposer une constance absolue au rapport des deux fréquences; 2° les groupes assurant une liaison élastique entre les réseaux reliés. Les groupes de la première catégorie donnent lieu à des décrochages, tandis que les autres permettent le passage d'une puissauce déterminée d'un réseau à l'autre, dans un sens choisi à volonté, quelles que soient les fluctuations de la fréquence sur les réseaux interconnectés.

Ces machines peuvent servir à améliorer le facteur de puissance de l'ensemble des réseaux en créant un appoint d'énergie réactive. Toutefois, le rendement propre des groupes convertisseurs de fréquence ne dépasse guère 90 pour 100 à pleine charge, donnant ainsi lieu à des pertes inadmissibles pouvant atteindre 13 à 14 pour 100. En conséquence, cette solution ne peut, selon l'auteur, être considérée que comme solution transitoire ou quand il s'agit de transformation portant sur de l'énergie à bas prix.

La description et les particularités des divers systèmes de groupes convertisseurs de fréquence font l'objet d'une annexe au rapport qui nous occupe.

2. MODIFICATION DES INSTALLATIONS POUR LE PASSAGE DE LA FRÉQUENCE DE 40 PÉRIODES PAR SECONDE A LA FRÉQUENCE DE 50 PÉRIODES PAR SECONDE. — L'auteur passe successivement en revue les transformations à faire subir aux installations de l'usine génératrice, au réseau, aux postes de transformation et aux engins d'utilisation rencontrés chez les abonnés, en faisant ressortir l'influence qui résulte de l'augmentation de la fréquence sur le rendement des appareils et la puissance qu'ils sont capables de fournir.

La nécessité de moderniser le matériel générateur d'une usine thermique après une période de dix à quinze années et, d'autre part, le fait que le matériel à 40 p : s n'est autre que du matériel à 50 p : s fonctionnant à puissance réduite et dont certains éléments sont appropriés à la marche à vitesse également réduite, facilitent les modifications qu'implique le changement de fréquence et diminuent le coût de l'opération.

Pour les turbines, le remplacement intégral des ailettes et des aubes directrices, joint à l'augmentation de vitesse des groupes et à l'appropriation des organes de la condensation, permet de réaliser des économies de consommation de vapeur très notables. L'auteur cite à titre d'exemple le cas d'une ancienne turbine à vapeur dont la consommation de vapeur par kilowatt-heure aux bornes de l'alternateur entraîné à pu être abaissée de 7,4 kg à 5,5 kg, la puissance étant accrue de 25 pour 100.

En ce qui concerne les alternateurs, on peut : *a*) augmenter sans autres la vitesse, à excitation égale, ce qui accroît la tension et la puissance de 25 pour 100 dans le cas des fréquences envisagées; les pertes par frottement et ventilation augmentent, ce qui peut conduire au remplacement du ventilateur, et les pertes dans le cuivre demeurent constantes. L'emploi d'un autotransformateur de réduction de la tension est

nécessaire sauf si l'usine comporte un poste de transformation au départ, ce qui est le cas le plus général; *b*) modifier les enroulements du rotor et du stator pour approprier la machine à ses nouvelles conditions de fonctionnement. Il est possible ainsi de réduire le nombre de barres par encoches du stator et d'améliorer la fixation des têtes de bobines, d'utiliser au rotor des isolants autorisant des échauffements plus élevés, de modifier les conditions de refroidissement de la denture du rotor, d'aménager de nouvelles rainures de ventilation, de proscrire toutes les pièces pleines en fer en utilisant pour la machine transformée des pièces en métal non magnétique. Il y a lieu également de remplacer le ventilateur par un appareil de puissance appropriée. Grâce à ces améliorations constructives, on peut faire débiter à l'ancienne machine une puissance supplémentaire de 25 pour 100 correspondant à l'augmentation de vitesse.

Pour l'appareillage de l'usine, on subdivise les barres générales en parties affectées les unes au courant à 50 p:s et les autres au courant à 40 p:s, tant que dure la transformation. Quant au réseau, il doit faire l'objet d'une étude très attentive tant pour fixer l'ordre le plus judicieux pour le passage à la nouvelle fréquence des divers câbles, selon les désirs et les exigences contradictoires des clients, que pour éviter de réduire la sécurité de service. A cet effet on cherche à subdiviser les câbles existants en deux réseaux distincts complètement indépendants, susceptibles d'alimenter simultanément (à 40 et à 50 p:s) les principaux postes de distribution.

Les compteurs à 40 p:s doivent subir un nouveau réétalonnage pour fonctionner à 50 p:s; cette opération s'effectue sur place pour les compteurs des clients importants; pour les autres, il convient, pour procéder rapidement, de substituer aux compteurs à 40 p:s de nouveaux compteurs étalonnés à 50 p:s, les anciens à 40 p:s étant rentrés au magasin après étalonnage à l'usine génératrice.

Les disjoncteurs doivent avoir leur bobine de déclenchement modifiées ainsi que les relais à minimum de tension.

Relativement aux moteurs asynchrones, l'accroissement de vitesse résultant d'un accroissement de fréquence provoque une diminution du couple moteur, d'où une tendance plus grande au décrochage; mais il faut tenir compte que dans les moteurs de construction ancienne le rapport du couple de décrochage au couple normal est de l'ordre de 2, alors qu'en pratique la valeur de 1,6 est suffisante. De plus, les industriels ont tendance à installer des moteurs de puissance trop élevée, afin d'obtenir un grand couple de démarrage. En conséquence, les moteurs conservent pratiquement leur puissance et peuvent rester en place à la nouvelle fréquence. Un accroissement de puissance de 25 pour 100 peut être obtenu par une augmentation de tension de 25 pour 100 en recourant à des autotransformateurs ou en modifiant le rapport de transformation des transformateurs existants.

L'auteur considère encore la question des transformations qu'il faut faire parfois subir aux transmissions du fait de l'accroissement de vitesse. Certains moteurs, comme ceux des broyeurs de cimenterie, exigent le remplacement intégral du réducteur de vitesse dont ils sont pourvus. La question est encore plus grave avec les pompes et ventilateurs centrifuges. On est conduit à réduire le diamètre des pompes monocellulaires ou même à le remplacer. Pour les ventilateurs, le remplacement de l'appareil en son entier s'impose fréquemment.

Les groupes moteur-générateur, les commutatrices, les moteurs compensés n'appellent pas d'observations remarquables. Pour les transformateurs, la puissance utile est maintenue et le rendement est amélioré légèrement. Par contre, la chute de tension en charge est augmentée.

3. Exécution et prix des travaux de transformation. — Les modifications à apporter aux installations des usines génératrices et des réseaux, par suite du changement de fréquence, sont effectuées par le distributeur et à ses frais.

Chez les abonnés de force motrice, il est désirable que chaque intéressé effectue lui-même les modifications nécessaires, mais en collaboration avec le distributeur qui peut l'aider de ses conseils. Les frais entraînés par les travaux inhérents au changement de fréquence sont supportés par les distributeurs à l'exclusion de toute indemnité pour dommages indirects, arrêts temporaires, manque à gagner, etc.

Quant au coût des travaux entraînés par l'unification des fréquences, il est difficile de donner des renseignements précis à ce sujet, des cas particuliers seulement pouvant être envisagés; l'auteur donne à ce sujet des indications relatives au changement de fréquence des six groupes turboalternateurs de l'usine génératrice d'Antoing. Pour les installations, les chiffres ci-dessous du coût de la transformation pour le passage de la fréquence de 40 p:s à celle de 50 p:s, sont donnés à titre indicatif, par kilowatt de puissance installée :

Installation grosse force motrice.....	50 à 120 fr
Installation moyenne et petite force motrice.	60 à 180 fr
Installation éclairage et petits moteurs domestiques	5 à 15 fr

VII. **Le dépoussiérage des fumées de chaudières.** Rapport de Renaud Dienne, ingénieur, sous-directeur de la Compagnie d'Electricité de la Dendre.

Dans ce rapport de vingt-sept pages de texte, avec vingt-quatre figures dans le texte, M. R. Dienne examine les éléments pratiques essentiels de la question très importante du dépoussiérage des fumées des chaudières et rend compte des résultats obtenus avec les divers systèmes de dépoussiéreurs dont la technique dispose actuellement pour éviter la pollution de l'atmosphère au voisinage des grandes usines génératrices thermiques.

1. Caractéristiques des poussières. — Les poussières contenues dans les fumées sont constituées par des parties cendreuses, des particules combustibles ou imbrûlées, dont le poids varie de 10 à 60 pour 100 du poids total des poussières, et d'une faible proportion de suie,

Les particules contenues dans les fumées provenant des foyers à grille ont un diamètre maximum moyen de 2 mm ; elles sont très abrasives, mais on peut les éliminer facilement par centrifugation sèche ou au moyen de chambres de dépôt.

Il n'en est pas de même avec les fumées provenant des foyers chauffés au charbon pulvérisé. On a affaire, en effet, à des particules dont le diamètre peut être inférieur à 0,06 mm. Les examens microscopiques et l'interpolation des graphiques qu'ils permettent d'établir montrent que ces poussières contiennent en général 30 à 35 pour 100 de grains ayant un diamètre égal au maximum à 0,02 mm.

2. Rendement du dépoussiérage. — Le rendement du dépoussiérage est le rapport du poids de poussières captées par son dépoussiéreur au poids de poussières qui pénètrent dans l'appareil pendant un temps déterminé. La valeur à fixer pour ce rendement dépend notamment des conditions locales et de la nature du combustible. L'auteur établit qu'un rendement de 70 pour 100 est suffisant. Toutefois, en pratique, il est préférable d'adopter une valeur plus élevée.

Abordant ensuite la question de la mesure du rendement du dépoussiérage, l'auteur expose deux méthodes : celle du bilan des résidus et celle des pesées des poussières extraites des échantillons de fumées.

Après avoir décrit les dispositifs expérimentaux relatifs à ces méthodes, l'auteur analyse d'une manière approfondie les causes d'erreurs dans les mesures du rendement et les limites d'exactitude que ces méthodes comportent. La méthode du bilan des cendres ne peut, dans les meilleures conditions, donner un degré de précision supérieur à 10 pour 100. Celle des échantillons des fumées donne lieu à des erreurs imputables soit à l'installation d'essai, soit aux mesures et l'auteur indique les précautions à prendre pour les réduire, de telle sorte qu'on parvient à mesurer le rendement avec une erreur variant de 4 à 10 pour 100.

3. Conditions auxquelles doivent satisfaire les dépoussiéreurs. — On doit exiger des dispositifs de dépoussiérage les conditions suivantes : 1° un rendement élevé, soit 75 à 90 pour 100 dans le cas du charbon pulvérisé, avec la captation des particules dont le diamètre est supérieur à 0,02 mm, en particulier aux fortes allures de marche et durant les périodes de ramonage ; 2° une grande sûreté de fonctionnement ; 3° la récupération aisée des poussières ; à cet égard, il est intéressant que la captation s'effectue par voie sèche afin de pouvoir les soumettre à la réincinération dans le foyer et ainsi d'améliorer le rendement thermique des chaudières ; 4° un faible encombrement ; 5° une étanchéité parfaite ; 6° un coût d'achat et d'installation ne dépassant pas 3 à 4 pour 100 du prix de la chaudière, avec des frais d'entretien et une dépense d'énergie aussi réduits que possible.

4. Les divers systèmes de dispositifs de dépoussiérage des fumées de chaudières. — Les divers dispositifs dont l'application peut être envisagée sont actuellement les suivants :

1° *Chambres de dépôt.* — Dans ces chambres, les particules se déposent grâce à un ralentissement de la vitesse de circulation des fumées. Leurs dimensions deviennent prohibitives dès qu'on cherche à en obtenir une efficacité acceptable.

2° *Centrifugeurs.* — Ce sont : les ventilateurs dépoussiéreurs à double enveloppe dans lesquels on capte les poussières aux endroits des palettes ou de la volute périphérique où elles se concentrent ; les cyclones à trajectoires hélicoïdales ou spiraloïdales des filets gazeux ; les ventilateurs à volute prolongée et à ponction qui participent du cyclone.

Le rendement de ces appareils varie de 45 à 65 pour 100 ; on peut obtenir des rendements de 85 à 90 pour 100 avec les appareils comportant un cyclone en leur adjoignant des dispositifs de lavage par l'eau ; mais il semble qu'en raison des nombreux inconvénients que ces dispositifs entraînent, l'emploi de l'eau soit à rejeter.

3° *Appareils à pellicules liquides.* — Le principe de ces appareils consiste en la mise en contact des gaz à dépoussiérer avec une surface recouverte d'une pellicule liquide plus ou moins visqueuse. Leur efficacité dépend de la longueur du parcours et de la finesse des tranches gazeuses. Le rendement varie de 85 à 92 pour 100, mais ces appareils sont d'un prix élevé et conduisent à une consommation d'eau considérable, soit 0,7 à 0,8 litre par mètre cube de gaz à 0°C. De plus, il faut faire usage de bassins de décantation et les poussières ne peuvent être recueillies qu'à l'état humide.

4° *Appareils à brouillard.* — Dans ces appareils, l'opération s'effectue en deux stades : un dispositif primaire constitué par une conduite spéciale à rayon extérieur constant et de section décroissante dans le sens du cheminement du gaz, et faisant suite à la volute du ventilateur, recueille la majeure partie des poussières par centrifugation sèche. L'opération est ensuite achevée dans une chambre humide. Cet appareil dont le rendement peut atteindre 95 pour 100 ne donne lieu qu'à une consommation d'eau de 0,18 litre par mètre cube de gaz.

5° *Dispositifs électriques de dépoussiérage.* — Ces appareils, qui dérivent du principe de Cotterel, ont un rendement de l'ordre de 75 pour 100 et nécessitent des dispositifs mécaniques à secousses pour détacher les poussières. Selon l'auteur, ils sont encombrants et coûteux et donnent lieu à des amorçages fréquents. Toutefois, il reconnaît que des perfectionnements ont été apportés à leur réalisation et, à cet égard, il cite l'appareil Pauthenier composé d'électrodes fili-

formes d'ionisation reliées au pôle négatif à 30 000 v d'un redresseur mécanique, de plaques de dépôt de poussières, reliées à la terre et munies de cloisons perpendiculaires s'opposant au mouvement des fumées, enfin de grillages à larges mailles placés devant ces plaques et qui créent une zone neutre où les particules ionisées peuvent tomber grâce à des mécanismes accessoires.

Le tableau II donne les caractéristiques essentielles des dispositifs précités.

TABLEAU II. — *Caractéristique des divers systèmes de dépoussiéreurs.*

CATÉGORIES D'APPAREILS	RENDEMENT global en centièmes	RÉSISTANCE correspondant à la pression d'une colonne d'eau de hauteur, en millimètres	CONSOMMATION d'énergie correspondante en watts par mètre cube de gaz à 0°C, celle relative au pompage de l'eau exclue	CONSOMMATION d'eau en litres par mètre cube de gaz à 0°	PRIX de l'équipement pour une chaudière de 15 t:h sans les ventilateurs et supports	OBSERVATIONS
					en francs	
Centrifugeurs secs..	45 à 65 exceptionnellement 70 à 75	30 à 45	0,14 à 0,20		30 000 à 60 000	Pour appareils en tôle d'acier.
Centrifugeurs humides.	85 à 92	40 à 45	0,18 à 0,20	0,4	30 000 à 60 000	Pour appareils en tôle d'acier.
Appareils à pellicules.	85 à 92	15 à 25	0,07 à 0,12	0,7 à 0,8	60 000 à 100 000	Pour appareils partiellement en fonte.
Appareils à brouillard	90 à 95	20 à 25	0,09 à 0,12	0,18 à 0,20	25 000 à 35 000	Pour appareils avec dispositif humide entièrement en fonte.
Appareils électrostatiques.	85 à 90	5 à 6	0,02 à 0,03		140 000 à 160 000	Avec la station de transformation et le redresseur.

5. UTILISATION DES POUSSIÈRES. — En dépit de nombreuses recherches, on n'a pas encore trouvé un débouché pour l'utilisation des cendres précipitées dans les dépoussiéreurs, en raison de leur trop grande finesse et de la présence de carbone imbrûlé. D'ailleurs, ces cendres ne peuvent être emmagasinées à l'état sec; d'autre part, l'emmagasinage à l'état humide nécessite des bassins de décantation dont l'établissement est fort dispendieux et qui, malgré tout, doivent être vidés quand ils sont comblés. L'auteur a pensé qu'il serait intéressant de récupérer le carbone imbrûlé contenu dans les poussières et d'écouler les poussières incombustibles avec les mâchefers des cendriers. A cet effet, il donne en terminant la description d'un appareil qu'il a réalisé pour la réinjection totale des poussières sèches dans la trajectoire de la plus haute isotherme du foyer. Cet appareil permet de réaliser une économie de 10 000 à 30 000 fr par an et par chaudière de 15 t:h pour une utilisation annuelle de 4 500 heures.

VIII. **Discussion.** — M. E.-O. Meyer, directeur général de l'Electricité de Strasbourg, attire particulièrement l'attention sur le problème du dépoussiérage, qui est l'un de ceux qui préoccupent le plus, à l'heure actuelle, les producteurs d'énergie électrique. Il résume en quelques mots le résultat des expériences effectuées à Strasbourg à ce sujet. Il pose, en outre, deux questions : la première relative à l'emploi possible des cendres du charbon pulvérisé et la seconde, au moyen pratique, non seulement de dépoussiérer les fumées des usines génératrices, mais surtout de les débarrasser de l'acide sulfurique qu'elles contiennent lorsque le charbon employé possède une teneur élevée en soufre. M. Herry, rapporteur général, répond à M. Meyer en ce qui concerne la première question; il fait lui-même, à l'usine génératrice de Langerbrugge, des essais de transformation des mâchefers de chaudières en aluminium. Il pense que les cendres de charbon pulvérisé doivent, elles aussi, contenir de l'alumine et estime que l'on peut employer la méthode du four électrique pour procéder à l'agglomération nécessaire. M. Rauber, de l'Union d'Electricité, signale que la question posée par M. Meyer, à propos des cendres du charbon pulvérisé, s'est posée également à l'usine de Gennevilliers et se posera à l'usine de Vitry-Sud, actuellement en construction. L'Union d'Electricité l'a résolue, au moins provisoirement, en employant ces cendres au remblayage de sablières plus ou moins voisines des usines. En outre, cette société a essayé de fabriquer des briques agglomérées avec les cendres de dépoussiérage, opération qui ne fut pas couronnée de succès tant qu'on chercha à agglomérer les briques avec du ciment, mais qui semble en meilleure voie de réussite depuis que l'on fait des briques étuvées à la vapeur. M. Rich (Grande-Bretagne), insiste sur l'importance, pour les usines anglaises, de la question du soufre, posée également par M. Meyer.

M. X. (Belgique), présente une communication sur « la mise sous tension progressive », faisant l'objet d'un rapport préparé par lui pour le Congrès, mais qui est parvenu trop tard au secrétariat pour pouvoir être distribué. — L. V.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Les métadynes entre elles et leurs dérivées

Cet article constitue une suite et une conclusion de ceux que l'auteur a publiés récemment dans cette revue successivement sur le fonctionnement statique et sur le fonctionnement dynamique de la métadyne (*). Il établit ici une comparaison entre les diverses solutions que l'on peut adopter pour le montage de la métadyne au point de vue du poids de matière mis en jeu et du fonctionnement ; les seuls cas considérés sont ceux des métadynes destinées à transformer de l'énergie électrique en énergie électrique. Un autre problème examiné dans cet article est celui des couplages entre métadynes ; un certain nombre de cas particuliers sont traités. Enfin, l'auteur rapproche de la métadyne un ensemble de dynamos bien défini auquel il donne le nom de « pliodyne » et il établit des comparaisons, toujours au point de vue des dimensions, ou des poids, et du fonctionnement entre la métadyne et la pliodyne équivalente. A la fin de cette étude sont reproduites les vues de quelques machines construites suivant la conception exposée dans cette série d'articles.

I. **Examen comparatif des différents montages.** — 1. De l'indice de dimensions. — Dans la théorie du fonctionnement statique de la métadyne et de son fonctionnement dynamique publiée dans les articles qui ont paru dans cette revue (1), on a examiné d'abord les caractères généraux du fonctionnement considéré, et ensuite on a pris un cas particulier simple, le cas du montage en Y de la métadyne, qu'on a traité explicitement. Tous les autres nombreux montages de la métadyne peuvent se traiter de la même manière et l'on aboutira aux mêmes résultats en ce qui concerne le principe de fonctionnement. Toutefois, il existe des écarts entre les différents montages de la métadyne, soit dans la répartition des tensions, résultant de la distribution différente des balais sur le collecteur, soit dans les dimensions pour une même puissance mise en jeu. Nous nous proposons ici de passer d'abord en revue quelques montages simples de la métadyne, en faisant ressortir quelques différences, et ensuite d'étudier le groupement des métadynes entre elles ainsi que la décomposition d'une métadyne en éléments simples équivalents à des dynamos. Pour pouvoir faire une comparaison précise entre les différents montages de métadynes de même puissance, il faut établir le projet complet de ces montages en donnant les mêmes valeurs aux constantes de construction, telles que l'induction dans le fer, l'échauffement, la vitesse de rotation, la contrainte des matériaux, etc. Ici, nous nous bornons à établir un indice que nous appellerons « indice de dimensions ». Cet indice D est pour les métadynes transformatrices d'un seul cycle

$$D = \frac{\Sigma V_z I_z}{2 \Sigma V_q I_q}, \qquad (1)$$

où V_z est la force électromotrice qui serait induite dans un enroulement rotorique, si on excitait les segments statoriques de la métadyne de manière à avoir deux pôles analogues à ceux d'une dynamo ordinaire fonctionnant à vide, l'induction étant maximum partout ; la tension V_z serait celle mesurée entre deux balais calés sur la ligne neutre et diamétralement opposés ; d'autre part,

$$I = \sqrt{\frac{2}{\pi} \sum_{ab} \theta_{ab} I_{ab}^2},$$

θ_{ab} étant l'arc compris entre les balais a et b allant de a vers b dans le sens dextrorsum et compté en radians et I_{ab} étant l'intensité du courant qui parcourt le segment d'induit correspondant ; $V_q I_q$ est la puissance qui correspond à un des appareils conduits par la métadyne ; et enfin la somme dans l'expression de D au numérateur indique qu'il faut ajouter autant de termes $V_z I_z$ qu'il y a d'enroulements induits distincts sur le rotor de la métadyne et celui du dénominateur s'applique à l'ensemble des appareils conduits (1).

Le rendement de la métadyne sera supposé, pour simplifier, égal à l'unité. Nous supposerons aussi que l'on a choisi pour caractéristique fondamentale de la métadyne celle qui donne un courant d'intensité constante aux appareils conduits, la tension du réseau qui alimente la métadyne étant constante.

(*) Joseph-Maxime Pestarini ; Théorie élémentaire du fonctionnement statique de la métadyne. *Revue générale de l'Electricité*, 8 et 15 mars 1930, t. XXVII, p. 355-365 et 395-406. — Théorie du fonctionnement dynamique de la métadyne. *Revue générale de l'Electricité*, 15 et 22 août 1930, t. XXVIII, p. 227-237 et 260-269.

(1) J.-M. Pestarini. *Revue générale de l'Electricité*, loc. cit.

(1) Nous appelons appareils conduits par la métadyne les appareils d'utilisation de l'énergie électrique qui sont alimentés totalement ou partiellement par la métadyne, de sorte que la répartition de l'énergie de ces appareils a lieu sous le contrôle de la métadyne.

Considérons un groupe moteur-générateur conduisant à intensité de courant constante et avec un rendement de 100 pour 100 les mêmes appareils conduits; l'indice de dimensions pour ce groupe transformateur sera, en se conformant aux règles données, $D = 1$. Cependant, il faut noter que la formule (1) tient compte des enroulements rotoriques distincts; mais elle les suppose portés par le même fer du rotor et embrassés par le même fer du stator, ce qui n'est pas le cas du groupe moteur-générateur. De plus, si l'on veut tenir compte du double support magnétique et du double support mécanique, il faudrait multiplier cet indice par 1,8 environ; ceci, quand il y a une seule génératrice, comme c'est le cas quand il y a un seul appareil conduit. Mais quand il y a plusieurs appareils conduits à alimenter chacun avec un courant constant, on a besoin, en général, de plusieurs génératrices distinctes; cet indice doit alors être affecté d'un facteur beaucoup plus important. Si, de plus, on considère que le stator de la métadyne est bien plus réduit, en général, que le stator d'une dynamo ordinaire, en cuivre et en fer, cet indice relatif au groupe devra être multiplié par un facteur compris entre 2,2 ou 2,5.

2. Répartition réelle des courants dans l'induit. — Pour appliquer la formule (1), il est, en général, nécessaire de connaître la répartition réelle des courants dans les segments de l'induit. Or, nous avons vu dans l'étude du fonctionnement statique que, pour connaître cette répartition, il faut résoudre le système

$$\left.\begin{aligned} I_a &= I_{ab} - I_{ha}, \\ I_b &= I_{bc} - I_{ab}, \\ &\cdots\cdots \\ I_h &= I_{ha} - I_{gh}, \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

$$\sum_{ab} I_{ab} r_{ab} = 0. \qquad (3)$$

On peut évidemment à la place de la forme (3) prendre la forme

$$\sum_{ab} I_{ab} \theta_{ab} = 0. \qquad (4)$$

Prenons I_{ha} comme inconnue que nous désignerons par la lettre x et nous aurons

$$\left.\begin{aligned} -2\pi x &= I_a\theta_{ab} + (I_a + I_b)\theta_{bc} + (I_a + I_b + I_c)\theta_{cd} + \cdots \\ &+ (I_a + I_b + \cdots + I_h)\theta_{ha} = I_a 2\pi + I_b(2\pi - \theta_{ab}) \\ &+ I_c(2\pi - \theta_{ac}) + \cdots + I_h(2\pi - \theta_{ah}). \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

Une fois x déterminé, les équations (2) nous donnent immédiatement les autres valeurs des intensités de courant dans l'induit.

En particulier, si nous avons deux balais seulement a et b décalés de θ_{ab} radians nous obtenons

$$\left.\begin{aligned} I_{ab} &= I_a \frac{2\pi - \theta_{ab}}{2\pi}, \\ x = I_{ba} &= -I_a \frac{\theta_{ab}}{2\pi}, \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

et si l'on appelle R_θ la résistance entre balais quand ils sont décalés d'un angle θ on obtient

$$\frac{R_\theta}{R_\pi} = \frac{2\theta}{\pi}\left(1 - \frac{\theta}{2\pi}\right),$$

formule que nous avons représentée par une courbe en figure 1.

Nous appellerons système canonique de courants aux balais un système de courants quelconques allant

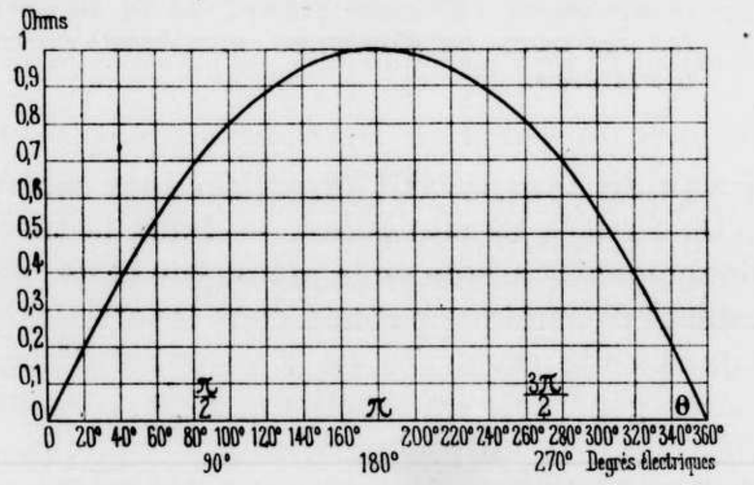


Fig. 1. — Courbe de la variation de la résistance entre balais, R_θ, en fonction de l'angle θ de décalage des balais, l'un par rapport à l'autre.

aux balais, à tous ou à deux seulement, quand la somme algébrique de ces courants est nulle.

Le système des courants réels allant aux balais est lui-même un système canonique et peut être considéré d'une infinité de manières comme résultant d'autres systèmes canoniques composants. Ceci dit, nous pouvons énoncer le théorème suivant :

Cinquième théorème. — *La distribution des courants dans l'induit d'un système canonique résultant de courants aux balais est la superposition des distributions des courants dans l'induit relatifs aux systèmes canoniques composants.*

Soit x l'intensité du courant dans le segment d'induit immédiatement à gauche du balai a relatif au système canonique résultant et $x_a, x_b \ldots, x_n$, celle relative à chacun des systèmes canoniques composants pris séparément. Il est clair que, pour démontrer le théorème, il suffit de démontrer l'égalité

$$x = x_a + x_b \ldots + x_n. \qquad (7)$$

Considérons d'abord trois paires de balais (fig. 2) et une paire de balais a et a'; dans le premier de ces balais entre le courant I_a qui sort entièrement du deuxième balai; de même dans la paire b et b' on a les

courants I_b et $-I_b$, et dans la paire c et c', les courants I_c et $-I_c$. Il faut remarquer que le balai a est placé par rapport à la paire b, b' d'une façon différente de la

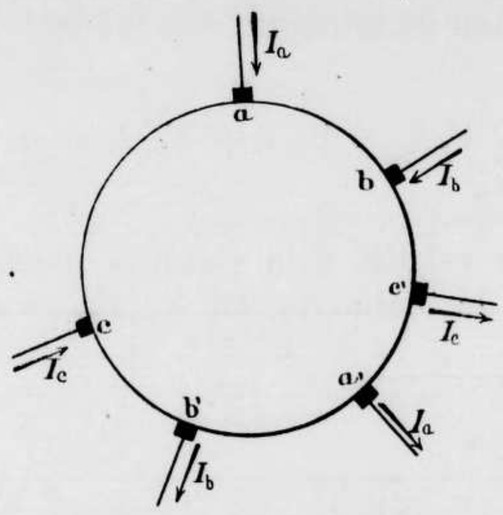


Fig. 2. — Schéma d'un rotor de métadyne avec trois paires de balais.

paire c, c' puisque ce balai a se trouve placé sur l'arc $\theta_{b'b}$ et $\theta_{cc'}$.

Ceci posé, nous considérons trois systèmes canoniques composants :

$$(I_a, I_{a'} = -I_a),\ (I_b, I_{b'} = -I_b),\ (I_c, I_{c'} = -I_c)$$

et nous avons pour chacun d'eux séparément

$$x_a = -I_a \frac{\theta_{aa'}}{2\pi};\quad x_b = -I_b \frac{\theta_{bb'}}{2\pi};\quad x_c = I_c \frac{2\pi - \theta_{cc'}}{2\pi};$$

d'où,

$$x_a + x_b + x_c = \frac{-1}{2\pi}\left[I_a\theta_{aa'} + I_b\theta_{bb'} - I_c(2\pi - \theta_{cc'})\right].$$

Après modification, en remarquant que

$$\theta_{ab'} = \theta_{ab} + \theta_{bb'},\quad \theta_{ac'} = \theta_{cc'} - \theta_{ca} = \theta_{cc'} - (2\pi - \theta_{ac}),$$

nous aurons

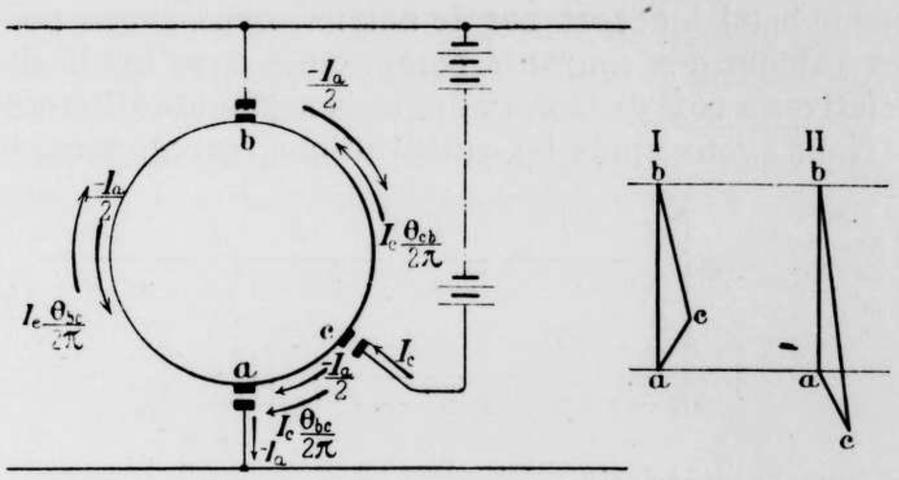
$$x_a + x_b + x_c = \frac{-1}{2\pi}\left[I_a 2\pi + I_b(2\pi - \theta_{ab}) + I_{c'}(2\pi - \theta_{ac'})\right.$$
$$\left. + I_{a'}(2\pi - \theta_{aa'}) + I_{b'}(2\pi - \theta_{ab'}) + I_c(2\pi - \theta_{ac})\right] = x,$$

donc l'égalité (7) a été démontrée pour ce cas particulier; si nous considérons ensuite une nouvelle paire de balais avec des courants égaux et de sens contraire, elle sera traitée soit comme la paire (I_b, I_b') soit comme la paire (I_c, I_c'). Donc le théorème est démontré pour un nombre quelconque de paires de balais avec des courants égaux et de sens contraire, quelle que soit la situation relative de ces paires.

Or, nous pouvons évidemment rapprocher deux balais consécutifs jusqu'à n'en former qu'un seul, les courants relatifs à chacun d'eux s'y ajoutant algébriquement. Il est évident que par ce procédé l'on peut toujours décomposer n'importe quel système canonique de courants aux balais en des systèmes canoniques composants constitués chacun par une paire de balais seulement; donc le théorème reste démontré pour le cas général.

3. De la métadyne en Y. — Il est clair que l'on peut prévoir l'arc d'induit compris entre deux balais consécutifs de manière à avoir avec l'induction maximum admissible dans l'entrefer la tension induite maximum désirée entre les deux balais envisagés. Soit, par exemple, en figure 3 une métadyne montée en Y (1) pour la charge d'une batterie d'accumulateurs à courant constant, la tension du réseau qui alimente la métadyne étant supposée constante.

Les diagrammes I et II à droite de la figure 3 sont les diagrammes vectoriels conformes à la définition donnée dans la théorie du fonctionnement statique de la méta-



Fig, 3. — Schéma du rotor de la métadyne en Y et diagrammes des tensions.

dyne (2) et correspondant, le premier, au début de la charge et le deuxième, à la fin de la charge. On s'arrangera donc pour que les valeurs de V_{ac} au début et à la fin de la charge soient égales et de signes contraires. Nous pouvons poser

$$|V_{bc}|_{max} = k\,|V_{ba}|$$

et K sera alors une constante qui caractérise la nature des accumulateurs. Nous déterminerons les arcs θ_{bc} et θ_{ca} de manière que

$$\frac{\theta_{bc}}{\theta_{ca}} = \frac{|V_{bc}|_{max}}{|V_{ac}|_{max}} = \frac{|V_{bc}|_{max}}{|V_{bc}|_{max} - |V_{ba}|} = \frac{k}{k-1}$$

et

$$\theta_{bc} + \theta_{ca} = \pi.$$

Donc on fera

$$\theta_{bc} = \pi\frac{k}{2k-1} \quad \text{et} \quad \theta_{ca} = \pi\frac{k-1}{2k-1}.$$

(1) Au-dessus des balais nous avons tracé des points carrés qui représentent les bornes correspondantes, ceci, afin de simplifier la figure, car nous ne représenterons pas le bobinage statorique, en laissant toute liberté dans le choix du schéma. Entre le balai et la borne correspondante est alors supposé exister l'éventuel enroulement statorique parcouru par le courant du balai considéré. Nous utiliserons désormais souvent cette représentation simplifiée.

(2) Joseph-Maxime Pestarini, *Revue générale de l'Electricité*, 15 mars 1930, t. XXVII, p. 399.

A la fin de la charge, on a pour un rendement unité de la métadyne

$$-I_a = kI_c = kI_q$$

et nous avons ainsi tous les éléments pour le calcul de l'indice de dimensions pour ce cas,

$$V_q = |V_{bc}|_{max};$$

$$V_z = V_q + (V_q - |V_{ba}|) = V_q \frac{2k-1}{k}.$$

Pour la distribution des courants dans l'induit, nous considérons (fig. 3), en application du cinquième théorème, un courant égal à I_c qui entre par le balai c et sort par le balai b et un courant égal à $-I_a$ qui entre par le balai b et sort par le balai a; nous avons porté les valeurs des courants composants avec les flèches relatives à côté de chacun des trois segments différents.

Nous avons après les substitutions correspondantes

$$\frac{2}{\pi}\sum_{ab}\theta_{ab}I_{ab}^2 = 2\left[\left(\frac{k}{2(2k-1)}-\frac{k}{2}\right)^2+\frac{k}{2k-1}\left(\frac{k}{2}-\frac{3k-2}{2(2k-1)}\right)^2 + \frac{k-1}{2k-1}\left(\frac{k}{2}+\frac{k}{2(2k-1)}\right)^2\right]I_c^2,$$

et tous calculs faits

$$D = \frac{V_z I_z}{2 V_q I_q} = \frac{1}{4}\sqrt{\frac{(k-1)(2k^3+16k^2-7k-1)}{k(2k-1)}}, \quad (8)$$

relation que nous avons illustrée par la courbe YY de la figure 4.

4. De la métadyne en croix. — Considérons maintenant quelques montages de la métadyne à quatre balais. D'abord le montage de la figure 12 de notre article sur

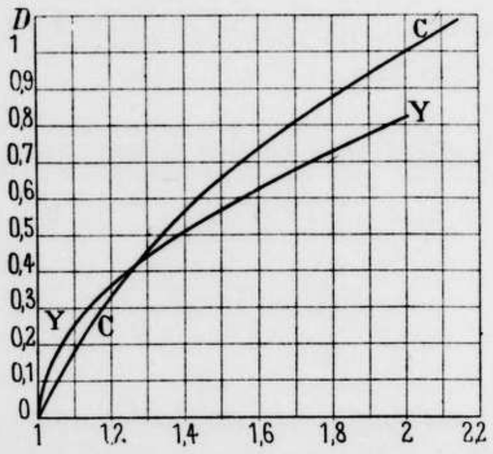


Fig. 4. — Courbes de la variation de D (indice de dimensions en fonction de k) : YY, montage de la métadyne en Y; CC montage de la métadyne en croix suivant la disposition de la figure 8.

la théorie du fonctionnement statique (1), que nous appellerons montage en croix et dont nous reproduisons en figure 5 un schéma dérivé particulier, les balais étant deux à deux diamétralement opposés. A droite de cette figure, nous avons tracé le diagramme vectoriel correspondant pour quelques points particuliers du fonctionnement. Le calcul des caractéristiques du régime stationnaire se fait comme pour le montage en Y; l'équation de la régulatrice est ici

$$\sum_{g=a}^{g=h} V_g I_g = V_{ac} I_a + V_{bd} I_b = 0. \quad (9)$$

Les calculs relatifs à la stabilité peuvent se faire comme pour la métadyne en Y; ici on a seulement

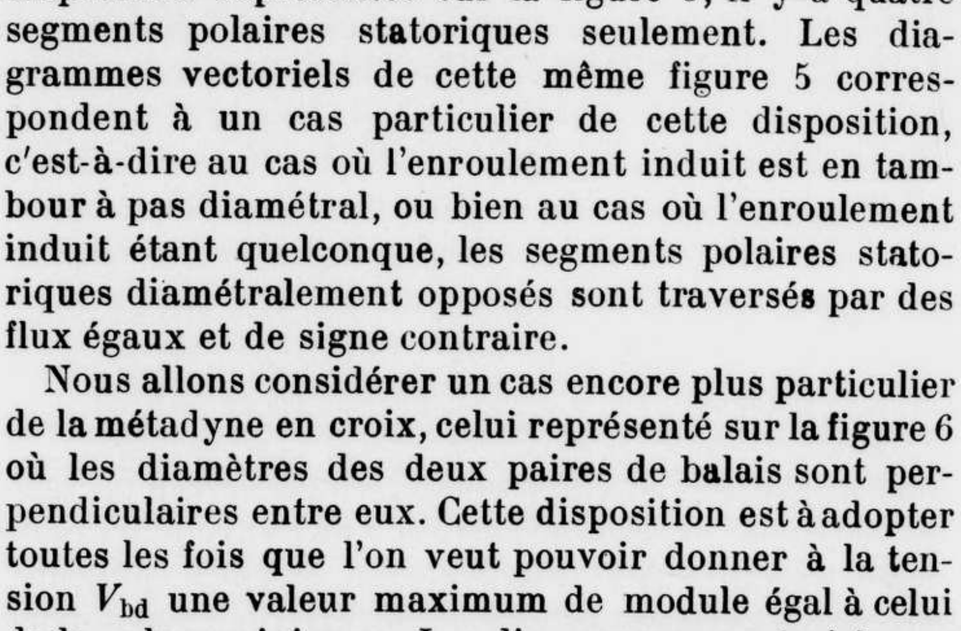


Fig. 5. — Schéma de montage du rotor de la métadyne en croix et diagrammes des tensions.

deux enroulements stabilisateurs éventuels parcourus par les courants des balais, car on a nécessairement

$$I_a + I_c = 0.$$

Pour le cas général de la métadyne en croix, on a huit segments polaires statoriques, tandis que dans la disposition représentée sur la figure 5, il y a quatre segments polaires statoriques seulement. Les diagrammes vectoriels de cette même figure 5 correspondent à un cas particulier de cette disposition, c'est-à-dire au cas où l'enroulement induit est en tambour à pas diamétral, ou bien au cas où l'enroulement induit étant quelconque, les segments polaires statoriques diamétralement opposés sont traversés par des flux égaux et de signe contraire.

Nous allons considérer un cas encore plus particulier de la métadyne en croix, celui représenté sur la figure 6 où les diamètres des deux paires de balais sont perpendiculaires entre eux. Cette disposition est à adopter toutes les fois que l'on veut pouvoir donner à la tension V_{bd} une valeur maximum de module égal à celui de la valeur minimum. Les diagrammes vectoriels sur cette figure supposent ou bien l'induit à tambour à pas diamétral, ou bien les flux des segments polaires statoriques diamétralement opposés égaux et de signe contraire. Posons

$$|V_{bd}|_{max} = |V_{ac}|\, k;$$

la tension V_{ac} du réseau est supposée constante; si le rendement de la métadyne est supposé égal à 1, on a

$$|I_a|_{max} = |I_b|\, k,$$

(1) J.-M. Pestarini. *Loc. cit.*, 8 mars 1930, p. 358.

en admettant que la caractéristique fondamentale soit à intensité de courant constante. Sur la figure 6 nous avons indiqué le courant dans chaque segment induit en appliquant le cinquième théorème et en considérant

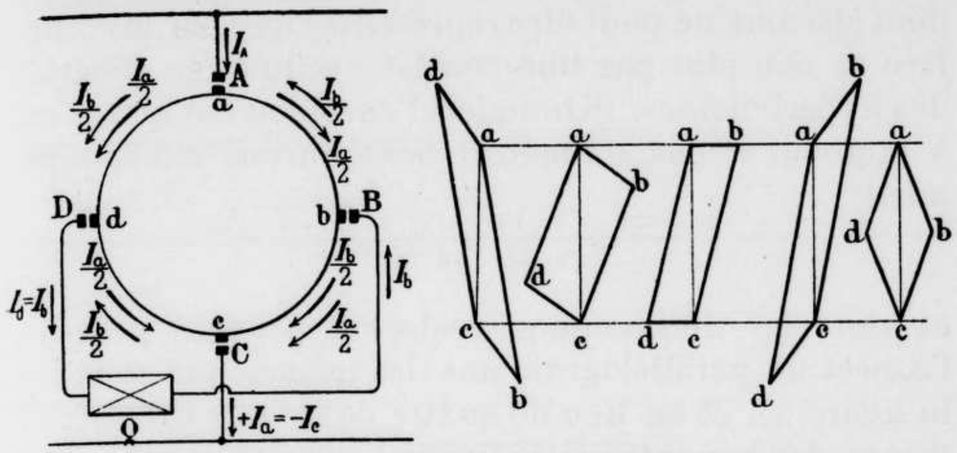


Fig. 6. — Schéma de montage du rotor de la métadyne en croix, suivant une disposition différente de celle de la figure 5, et diagrammes des tensions.

les systèmes canoniques composants de courants aux balais suivants

$$(I_a,\ I_c = -I_a) \quad \text{et} \quad (I_b,\ I_d = -I_b).$$

Ainsi nous avons

$$V_q = |V_{bd}|_{max}; \qquad I_q = |I_b|;$$

$$V_z = V_q \frac{k+1}{k}; \qquad I_z = |I_b| \sqrt{1+k^2},$$

donc

$$D = \frac{(k+1)\sqrt{1+k^2}}{2k}, \qquad (9)$$

formule que la courbe CC de la figure 7 illustre. Si l'on se rapporte à ce que nous avons dit plus haut au sujet

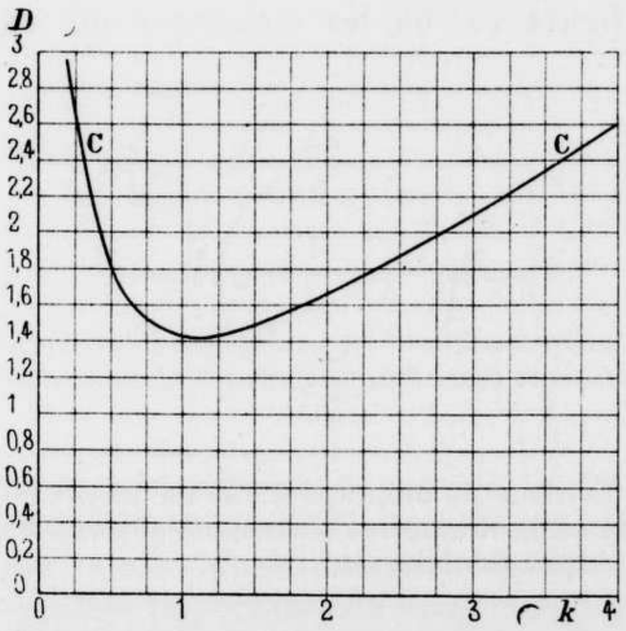


Fig 7. — Courbe de la variation de D en fonction de k dans le cas de la métadyne montée en croix suivant le schéma de la figure 6.

de l'indice de dimensions du groupe moteur-générateur et que l'on mène la parallèle à l'axe des abscisses ayant l'ordonnée $D = 1{,}8$, on peut déduire que la métadyne en croix est plus légère que le groupe moteur-générateur pour toutes les valeurs de k comprises entre 0,5 et 2,3. Si l'on veut tenir compte du rendement, ces limites seront encore plus éloignées entre elles (1).

Si nous considérons une métadyne en croix avec deux enroulements induits distincts, l'un de ces enroulements sera prévu pour la tension constante du réseau et l'autre, pour la tension $|V_q|_{max}$. Alors l'indice de dimensions est indépendant du rapport k et toujours égal à 2 : la considération du poids seulement n'est plus, en général, en faveur de la métadyne par rapport au groupe moteur-générateur et c'est la comparaison des caractéristiques du fonctionnement qui déciderait du choix.

Plus haut nous avons considéré (fig. 3) une application du montage en Y pour la charge à intensité de courant constante d'une batterie d'accumulateurs ; cette charge peut s'effectuer aussi avec une métadyne en croix à deux enroulements induits suivant le schéma de la figure 8, où les deux cercles indiquent les deux enroulements. Les diagrammes vectoriels tracés à côté se

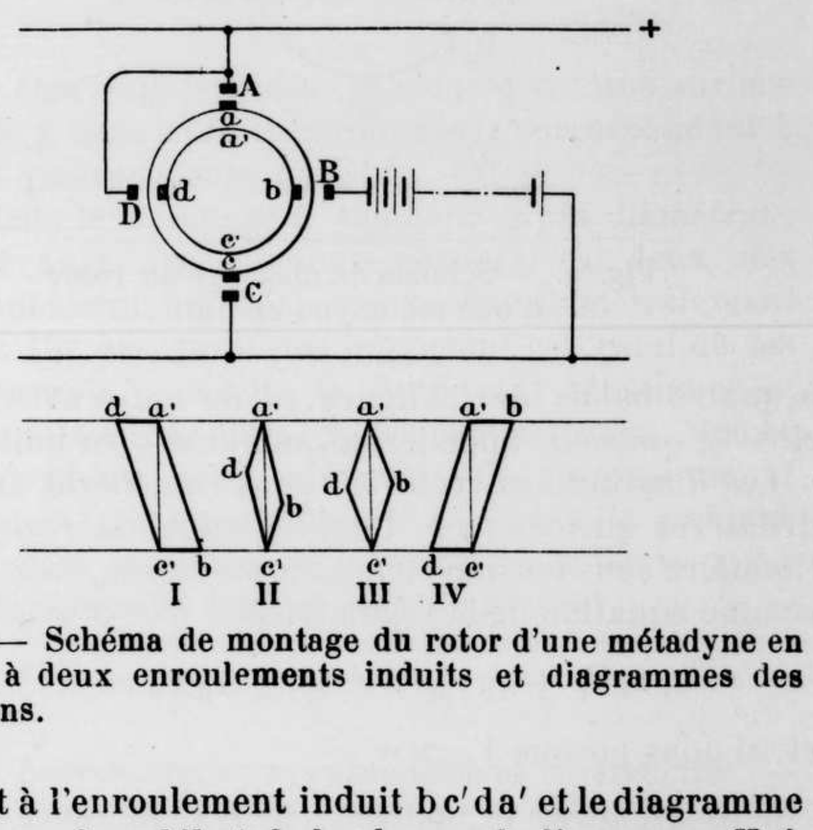


Fig. 8. — Schéma de montage du rotor d'une métadyne en croix à deux enroulements induits et diagrammes des tensions.

réfèrent à l'enroulement induit b c' d a' et le diagramme I correspond au début de la charge ; le diagramme II, à quelques instants après le début de la charge ; le diagramme III, à l'instant où la tension de la batterie égale celle de la ligne et enfin le diagramme IV, à la fin de la charge. Si nous voulons comparer au point de vue des dimensions la métadyne de la figure 8 avec celle de la figure 3 pour une même valeur de k définie par

$$k = \frac{\text{Tension aux bornes de la batterie à la fin de la charge}}{\text{Moyenne des tensions au début et à la fin de la charge}},$$

il faudra tenir compte, pour la métadyne de la figure 8,

(1) Il est bon de rappeler que, quand l'indice de dimensions est égal à 1, on ne doit pas conclure que le poids de la métadyne est égal à deux fois celui des appareils conduits, car le choix convenable de la vitesse et la subdivision, en général, des appareils conduits réduit le poids de la métadyne le plus souvent de 0,60 jusqu'à 0,25 du poids des appareils conduits suivant le montage adopté. Dans des cas particuliers, ce rapport de poids est plus grand que 0,6 et dans d'autres cas, plus petit que 0,25.

de ce que la puissance transformée n'est qu'une partie de la puissance fournie à la batterie et exactement la fraction $\left(1-\frac{1}{k}\right)$ au début ou à la fin de la charge; par conséquent, pour la comparaison, il faudra multiplier par $\left(1-\frac{1}{k}\right)$ l'indice $D=2$; nous obtenons ainsi la courbe CC de la figure 4 qui dénonce une supériorité du montage en Y pour les grandes valeurs de k et une infériorité pour les faibles valeurs de k.

5. De la métadyne en huit. — La figure 9 reproduit, sous une forme particulière, le montage de la métadyne

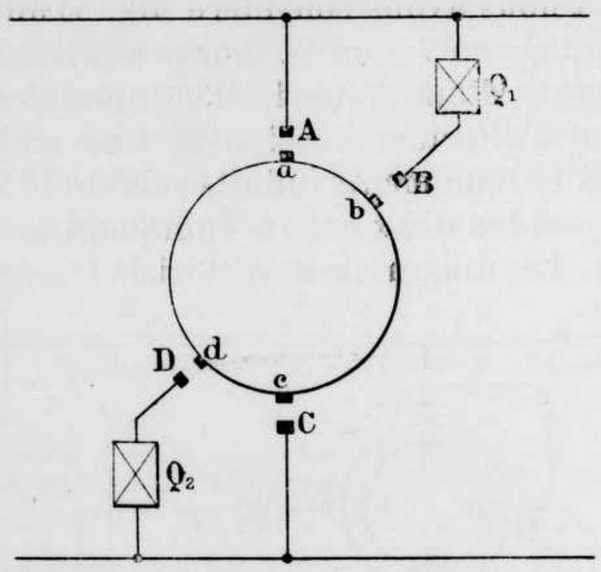


Fig. 9. — Schéma de montage du rotor d'une métadyne en huit.

à quatre balais de la figure 13 de notre article précité (1), que nous appellerons montage « en huit ».

Les diagrammes vectoriels sont en général des quadrilatères quelconques. Pour le calcul du régime stationnaire sous tension constante au réseau, nous avons comme équation de la régulatrice

$$I_a V_a + I_b V_b + I_c V_c + I_d V_d = 0$$

et, si nous posons $V_c = 0$,

$$(I_a + I_b) V_{ca} + I_b V_{ab} + I_d V_{cd} = 0 \qquad (10)$$

et nous pouvons prendre comme variables I_a, I_b, I_c, I_d, V_{ab}, V_{cd}, I_e. Le dernier symbole représente, rappelons-le, le courant qui traverse l'enroulement statorique régulateur de la métadyne.

Les équations qui lient ces variables en régime stationnaire sont

$$\left.\begin{aligned} &I_a + I_b + I_c + I_d = 0;\\ -V = V_{ac} &= \sum_{cd} E_{ab}^{cd} + \sum_{da} E_{bc}^{da} + \sum_{A} U_{ab}^{A} + \sum_{A} U_{bc}^{A};\\ V_{ab} &= \sum_{cd} E_{ab}^{cd} + \sum_{A} U_{ab}^{A};\\ V_{cd} &= \sum_{ab} E_{cd}^{ab} + \sum_{A} U_{cd}^{A} \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 8 mars 1930, t. XXVII, p. 358.

où V est une constante. Nous avons donc avec l'équation (10) cinq équations entre sept variables. La caractéristique fondamentale est donc une équation entre trois variables choisies entre les I_c, I_d, V_{ab}, V_{cd}; donc, il y a ici quatre équations caractéristiques fondamentales dont chacune ne peut être représentée que par une surface et non plus par une courbe (1). On a, en général, des hyperboloïdes. Si toutefois l'enroulement induit est à tambour à pas diamétral nous aurons nécessairement

$$V_{ab} + V_{cd} = 0 \qquad (12)$$

et alors les diagrammes vectoriels peuvent prendre l'aspect de parallélogrammes (les mêmes que ceux de la figure 5), et au lieu de quatre équations caractéristiques fondamentales distinctes, nous en avons une seule, mais qui peut toujours être représentée par une surface rapportée à trois axes de coordonnées.

Il arrive très souvent, en pratique, que les deux appareils conduits Q_1 et Q_2 soient identiques et qu'ils fonctionnent dans les mêmes conditions (par exemple pour des moteurs de traction d'une locomotive électrique, ou bien quand Q_1 et Q_2 ne sont que deux éléments semblables d'une machine unique). Dans ce cas, si l'enroulement est à tambour à pas diamétral, il résulte nécessairement de l'équation (12)

$$I_b + I_d = 0 \qquad (13)$$

et nous avons alors autant d'équations que de variables moins une; la caractéristique fondamentale est donc unique, elle lie deux variables, soit I_b et V_{ab}, et elle peut être représentée par une courbe plane; on retombe donc au cas du montage en Y et l'on obtient des résultats semblables, à savoir des hyperboles et des droites.

Quand on se limite au montage dérivé très particulier de la figure 10, où les diamètres aux extrémités

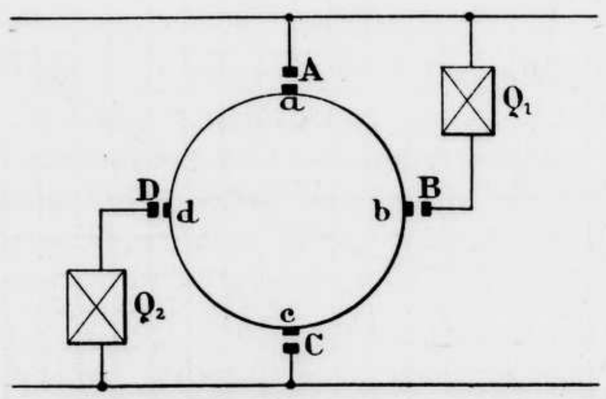


Fig. 10. — Schéma de montage d'une métadyne en huit, cas particulier où les diamètres correspondant aux balais opposés sont perpendiculaires entre eux.

desquels sont les balais sont perpendiculaires entre eux, les diagrammes vectoriels sont ceux de la figure 6 et les courants dans les segments d'induit sont ceux

(1) Il est bon ici de remarquer que pour le montage en croix, à cause de l'équation $I_b + I_d = 0$, nous n'avons qu'une équation caractéristique fondamentale entre I_b et V_{cd} qui peut être représentée par une courbe. C'est ce que nous avons pour le montage en Y.

indiqués sur cette dernière figure. Pour le calcul de l'indice de dimensions dans ce cas particulier et pour un fonctionnement à intensité de courant I_b constante, on a pour le point de fonctionnement pour lequel $|V_{ab}|$ est maximum

$$V_q = |V_{ab}| = k\,|V_{ac}|.$$

De l'équation de la régulatrice, qui se réduit à

$$(I_a + I_b)\,V_{ca} - 2\,I_b\,V_{ba} = 0,$$

on a

$$I_a = I_b\,(2k - 1), \qquad (14)$$

donc

$$I_z = I_q\sqrt{1 + (2k-1)^2},$$

et comme

$$V_z = 2\,V_q \quad \text{et} \quad \Sigma I_q V_q = 2\,|I_b\,V_{ba}|,$$

il en résulte

$$D = \sqrt{\frac{2k^2 - 2k + 1}{2}}, \qquad (15)$$

formule illustrée par la courbe de la figure 11. La courbe s'arrête à $k = 0{,}5$ qui est la limite minimum que cette constante k peut atteindre pour ce montage ;

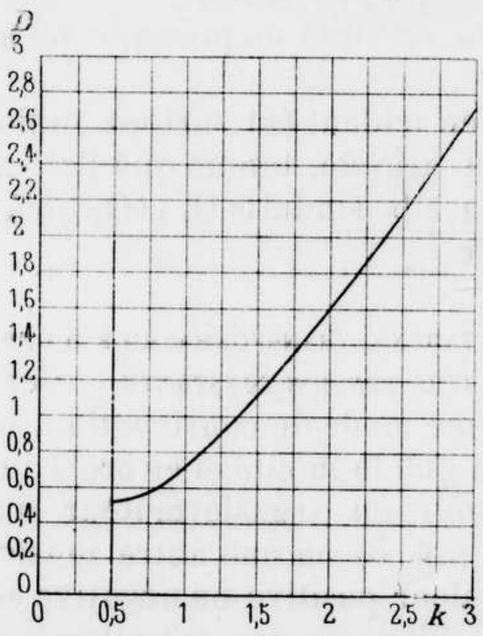


Fig. 11. — Courbe des variations de l'indice de dimensions D en fonction de k pour la métadyne en huit.

cette courbe démontre la grande supériorité du montage en huit par rapport au montage en croix pour les faibles et moyennes valeurs de k, notamment pour la valeur pratiquement très importante de $k = 1$ et son infériorité pour les valeurs de k supérieures à 2,1.

Dans le cas particulier où l'équation (14) est valable, on ne dispose que de deux enroulements stabilisateurs statoriques, l'un parcouru par le courant I_a ou $-I_c$ et l'autre, par le courant I_b ou $-I_d$.

La marche à suivre pour le calcul de ces enroulements est identique à celle indiquée au chapitre précédent pour le montage en Y.

6. De la métadyne en trident. — La figure 12 donne le schéma d'une forme particulière du montage de la figure 14 de notre article précité (1), montage que nous appellerons : « à trident ». En général, le diagramme vectoriel est un quadrilatère quelconque et il existe quatre caractéristiques fondamentales distinctes qui

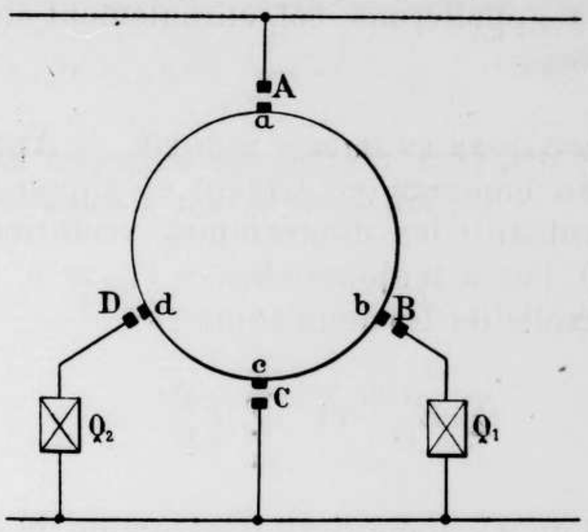


Fig. 12. — Schéma de montage du rotor d'une métadyne en trident.

peuvent être représentées chacune par une surface rapportée à trois axes de cordonnées, correspondant à trois des quatre valeurs I_c, I_d, I_{bc}, I_{cd}.

Adoptons le bobinage à tambour à pas diamétral ; le stator aura six segments polaires, car deux des balais seulement, les balais a et c, sont diamétralement opposés. Un cas pratique important est celui où les deux appareils conduits Q et Q′ sont identiques et doivent fonctionner dans les mêmes conditions. Malgré cette hypothèse nous n'avons pas nécessairement l'équation (14), comme c'était le cas dans le montage en huit de la métadyne de la forme de la figure 9, car pour le montage en trident on a en général

$$|V_{bc}| \neq |V_{cd}|.$$

7. Du compensateur ; douzième mode de construction. — On peut toujours donner, pendant le régime stationnaire, à une différence de potentiel V_{ab} entre deux balais a et b de la métadyne, la forme arbitrairement fixée d'une fonction linéaire des courants et des différences de tensions de la métadyne, moyennant des enroulements statoriques.

Nous avons, en effet,

$$V_{ab} = \sum_{cd} E_{ab}^{cd} + \sum_{A} U_{ab}^{A}, \qquad (16)$$

où la première somme est une fonction linéaire des courants aux balais et la deuxième somme, une fonction linéaire des courants statoriques. Ce qui peut arriver pratiquement, c'est que dans la première somme figure un terme de la forme AI_c, où A est une constante et I_c, le courant qui va au balai c, tandis que l'on voudrait avoir le terme $A'I_c$, A' étant une constante différente de A (l'une de ces deux constantes pou-

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 8 mars 1930, t. XXVII, p. 358.

vant être nulle). Alors on adoptera un enroulement statorique qui figurera dans la somme $\sum_{A} U^{A}_{ab}$ et qui aura la valeur $(A' - A)I_c$, le but étant ainsi atteint pour un terme et pouvant être atteint de la même manière pour d'autres termes convenablement déterminés. Nous appellerons cet enroulement statorique « compensateur ».

8. De la métadyne en trident rectifié. — Appliquons ce procédé au montage en trident et supposons que l'on veuille obtenir les diagrammes vectoriels de la figure 13 où l'on a toujours $V_{bc} - V_{cd} = 0$. On commence par expliciter les deux sommes

$$\sum_{da} E^{da}_{bc} \quad \text{et} \quad \sum_{ab} E^{ab}_{cd}$$

en partant d'un système fictif quelconque de courants dans l'induit et en remplaçant ensuite ces derniers par les courants aux balais. On compare alors ces deux

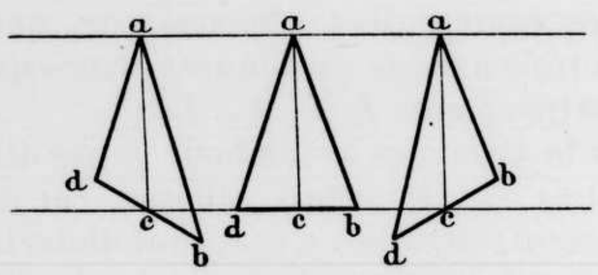


Fig. 13. — Diagrammes des tensions de la métadyne en trident.

sommes et l'on détermine les termes à ajouter à la première et ceux à ajouter à la deuxième pour qu'elles deviennent identiques. Cette détermination peut être faite évidemment d'une infinité de manières et l'on choisira la plus convenable, par exemple pour sa simplicité ou bien pour son effet stabilisateur ; on adoptera les circuits statoriques relatifs de manière à faire figurer dans les sommes

$$\sum_{A} U^{A}_{bc} \quad \text{et} \quad \sum_{A} U^{A}_{cd},$$

les termes à ajouter aux sommes

$$\sum_{da} E^{da}_{bc} \quad \text{et} \quad \sum_{ab} E^{ab}_{cd}$$

respectivement, tous les autres termes qui figurent dans les sommes

$$\sum_{A} U^{A}_{bc} \quad \text{et} \quad \sum_{A} U^{A}_{cd}.$$

devront être identiques.

On procédera d'une manière analogue pour obtenir les diagrammes vectoriels de la figure 14 où l'on a toujours $V_{bc} + V_{cd} = 0$. De même, pour tous autres diagrammes vectoriels qui définissent une relation quelconque entre les tensions correspondantes, pourvu que cette relation soit une combinaison linéaire des courants et tensions. Il faut remarquer que toutes les fois qu'un balai de la métadyne doit avoir le même potentiel qu'un autre balai, on pourra les connecter entre eux soit directement, soit à travers un enroulement

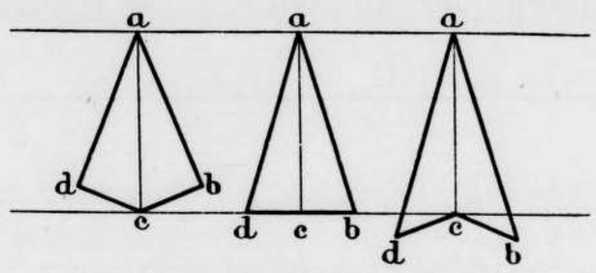


Fig. 14. — Autres diagrammes des tensions de la métadyne en trident.

statorique. Si alors l'égalité des potentiels des deux balais en question n'est pas assurée par l'action des enroulements statoriques, elle le sera par l'action des ampères-tours rotoriques créés par le courant de circulation qui naîtra entre les deux balais en question. Ainsi, pour le montage en trident avec les diagrammes vectoriels de la figure 14, on pourra ou bien prévoir l'enroulement compensateur convenable au stator et, de plus, mettre les balais b et d en court-circuit, ou, plus généralement, les bornes B et D, ou bien on pourra réaliser cette dernière connexion sans prévoir d'enroulement compensateur au stator.

L'étude de la stabilité ne présente ici aucune particularité.

Le montage en trident est surtout indiqué quand la tension V_{ca} est grande, tandis que l'on ne veut soumettre les appareils conduits Q_1 et Q_2 qu'à une tension bien plus faible.

9. De la métadyne transformatrice d'une tension constante en une autre tension constante. — Comme application du douzième mode de construction, nous pouvons mentionner ici que le montage en croix de la métadyne permet d'obtenir un transformateur d'une tension constante V_{ca} (fig. 6) en une autre tension constante, V_{bd}, dont la valeur positive ou négative est arbitraire. A cet effet, on adoptera des enroulements compensateurs statoriques conformément au douzième mode de construction de manière à rendre V_{bd} indépendant du courant I_a et ensuite on adoptera un enroulement régulateur et stabilisateur tel que V_{bd} en soit indépendant et soit fonction, par contre, uniquement d'un courant I_α statorique arbitraire.

Comme le montage en croix, tous les autres montages indiqués dans ce chapitre et d'autres encore non examinés ici, se prêtent à devenir des transformateurs de tension constante en une ou plusieurs autres tensions constantes arbitraires.

(*A suivre*)

J.-M. Pestarini.

Revues, analyses et informations

La puissance en courant continu du redresseur à cathode incandescente (1).

1. Le phénomène du redressement du courant. — Sur la figure 1 est représenté le montage adopté pour le redressement d'une seule alternance du courant, tandis que la figure 2 se rapporte au cas du redressement des deux alter-

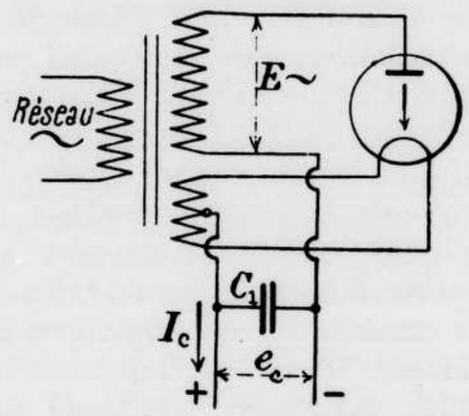


Fig. 1. — Schéma de montage du redresseur pour le redressement d'une seule alternance.

nances avec un redresseur à deux anodes. La figure 3 schématise le montage de la figure 1. L'auteur admet que le condensateur de compensation a une capacité C_1 assez grande pour que la tension continue et, de ce fait, le courant continu, ne subissent aucune variation.

1° *Cas du redressement d'une seule alternance.* — Tandis que la tension alternative s'élève, il s'établit un courant de

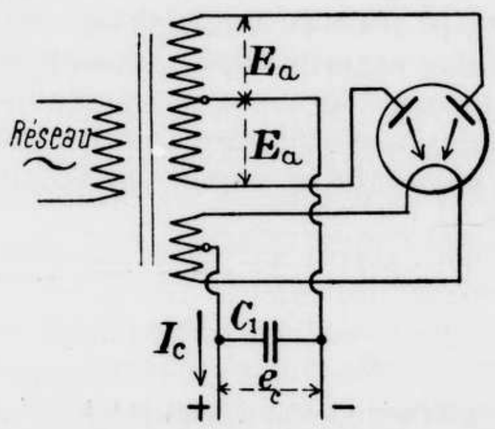


Fig. 2. — Schéma de montage du redresseur à deux anodes. pour le redressement des deux alternances.

charge i' du condensateur à partir du moment où cette tension est supérieure à la force contre-électromotrice du condensateur, elle-même égale à la tension continue e_c. Le courant a une valeur instantanée définie par

$$i' = \frac{e'}{R},$$

où

$$e' = e_0 - e_c$$

et R est la résistance du circuit ; e_0 est la valeur instantanée de la tension alternative. Il suffit de considérer un quart de période ; la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur dans le temps compris entre le début de la charge et la fin du premier quart de période est égale à celle qui passe, en courant redressé, dans le circuit pendant une demi-période, soit

$$i_c \times \frac{1}{2f} = \int_0^{\frac{1}{4f}} i' \, dt = \frac{1}{R} \int_0^{\frac{1}{4f}} e' \, dt,$$

où f est la fréquence du courant alternatif. L'instant t_x auquel commence la charge est défini par

$$e_{0m} \sin \omega t_x = e_c,$$

soit

$$t_x = \frac{1}{\omega} \text{ arc sin } \frac{e_c}{e_{0m}}$$

et

$$\frac{i_c}{2f} = \frac{1}{R}\left[\frac{1}{2\pi f}\sqrt{e_{0m}^2 - e_c^2} - \frac{e_c}{2f}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \text{ arc sin } \frac{e_c}{e_{0m}}\right)\right].$$

Pour résoudre cette relation par rapport à e_c, l'auteur remplace la sinusoïde représentant la variation de la tension

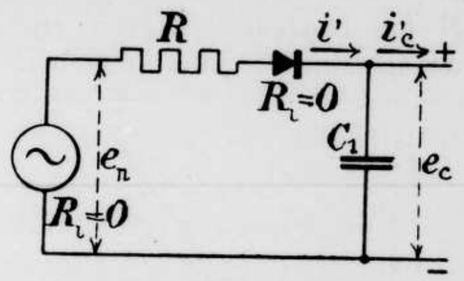


Fig. 3. — Schéma simplifié du redresseur pour le redressement d'une seule alternance.

alternative par une droite inclinée formant avec l'axe des abscisses et une parallèle à l'axe des ordonnées d'abscisse $\frac{1}{4f}$ un triangle de même surface que celle limitée par la sinusoïde et les deux mêmes droites que le triangle (l'axe des abscisses et la parallèle à l'axe des ordonnées). L'équation de la droite est

$$e = A e_{0m} 4 f t.$$

Le coefficient A dépend des constantes du circuit d'utilisation parcouru par le courant redressé. Si ce circuit est ouvert, $A = 1$; s'il est en court-circuit, $A = \frac{4}{\pi} = 1{,}27$, et A varie entre ces limites suivant le rapport $\frac{e_c}{e_{0m}}$ comme le montre la courbe de la figure 4. Dans ces conditions, le temps t_x défini plus haut a pour expression

$$t_x = \frac{e_c}{A e_{0m} 4 f}$$

et la tension continue e_c en fonction de la valeur efficace de la tension alternative E_0 est alors

$$e_c = A E_0 \sqrt{2} - 2\sqrt{A E_0 \sqrt{2}\, i_c R}.$$

2° *Cas du redressement des deux alternances.* — La marche

(1) Peter Cornelius. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 24 juillet 1930, t. LI, p. 1067-1068, 1 000 mots, 10 figures.

à suivre dans le calcul est la même que dans le cas précédent et l'on trouve en prenant les mêmes notations

$$e_c = A E_0 \sqrt{2} - \sqrt{2 A E_0 \sqrt{2}\, i_c R}.$$

Dans cette formule R comprend la résistance du redres-

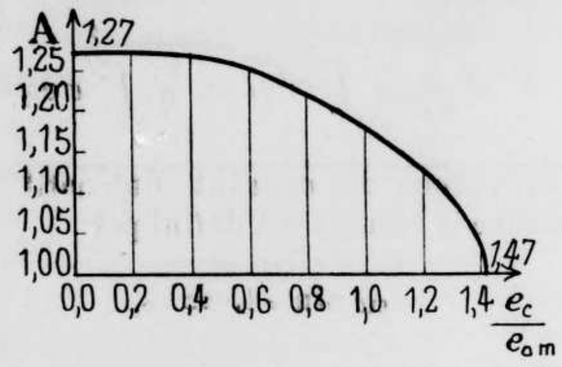


Fig. 4. — Courbe de la variation du coefficient A en fonction du rapport $\frac{e_c}{e_{0m}}$.

seur et celle de la source de courant alternatif ; il n'est pas tenu compte de l'inductance du circuit.

2. Valeur moyenne de la résistance des tubes de redresseurs. — La détermination de cette valeur moyenne se fait à l'aide de la caractéristique du courant en fonction de la tension. Celle-ci est représentée en 1 sur la figure 5. La partie de la caractéristique à considérer est celle comprise

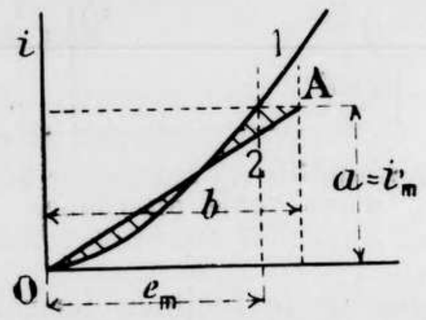


Fig. 5. — Caractéristique du courant d'un redresseur (courbe 1) et construction (courbe 2) permettant de déterminer la valeur moyenne de la résistance du redresseur.

entre l'origine et le point d'abscisse e'_m défini par $e_{0m} - e_c$; à cette tension correspond le courant i'_m. On mène une droite OA qui coupe la caractéristique en un point tel que les surfaces comprises entre la caractéristique et cette droite de part et d'autre du point d'intersection soient égales. Le coefficient angulaire de cette droite représente la valeur moyenne de la résistance du redresseur. On remarque que cette valeur moyenne varie avec les conditions de fonctionnement et, notamment, avec les courants du circuit d'utilisation.

3. Conclusion. — Les mesures effectuées par l'auteur pour contrôler les formules qu'il a établies ont montré que celles-ci sont valables si le condensateur a une capacité suffisante pour assurer une complète compensation. Par contre, le fait de négliger l'inductance dans les calculs conduit à un écart entre les résultats que donne la formule et ceux de l'expérience, la tension redressée obtenue par le calcul pouvant être supérieure de 10 pour 100 à celle mesurée. — A. C.

Les molécules polaires et leur contribution aux pertes d'énergie dans les diélectriques (1).

Le principal intérêt de la théorie des molécules polaires de Debye est qu'elle explique ce que sont les relations jusqu'alors considérées comme anormales, de la constante diélectrique avec la température et avec la fréquence et qu'elle jette une lumière nouvelle sur le groupement des atomes dans les molécules. On n'a accordé au contraire que peu d'attention à la dissipation d'énergie nécessairement associée aux oscillations des molécules polaires dans un champ électrique. Ces pertes sont relativement peu importantes dans le domaine des fréquences lumineuses, bien que l'on se soit bien rendu compte de leur corrélation avec l'absorption et avec la dispersion anormale. Cependant, dans certaines conditions, on doit s'attendre à rencontrer un maximum de perte d'énergie à une fréquence plus basse. En général, ces maxima doivent apparaître à des fréquences encore relativement élevées par rapport à celles qui se présentent dans les systèmes électriques industriels, avec l'exception possible de ceux utilisés dans les radiotransmissions. Mais il y a, en fait, dans la littérature relative aux pertes diélectriques, une tendance croissante à invoquer les oscillations avec frottement de la molécule polaire de Debye, pour expliquer les pertes diélectriques, ce qui semble vraisemblable, du moins partiellement, dans le domaine supérieur des fréquences de la radiotéléphonie.

Quelques auteurs ont tenté d'étendre l'application de la théorie en matière de pertes d'énergie, même aux basses fréquences des courants alternatifs industriels et c'est précisément le but du présent travail d'examiner cette dernière proposition en se plaçant au point de vue théorique et à celui des données expérimentales utilisables. L'auteur parvient à la conclusion qu'il est peu probable que, pour l'un des corps employés d'ordinaire comme isolant, les pertes diélectriques puissent s'expliquer par l'oscillation de molécules polaires.

Cette conclusion repose sur les arguments suivants, dont l'exactitude ressort des calculs de l'auteur :

1° Pour la glycérine, la contribution de l'orientation moléculaire aux pertes d'énergie est négligeable, à 0°C et à 10° C, pour des fréquences inférieures à 10^4 p : s ;

2° Pour les températures supérieures à 10°C, la contribution devient plus petite encore et très probablement disparaît ;

3° Il est improbable qu'une portion notable de la perte diélectrique normale observée dans les huiles isolantes usuelles, aux fréquences commerciales, puissent s'expliquer sur la base de la théorie de Debye ;

4° Pour déterminer l'effet des dipôles dans leur contribution aux pertes diélectriques, il faudra effectuer des déterminations très précises de la constante diélectrique, en particulier pour les corps qui ne manifestent que de petites variations de constante diélectrique avec la température et avec la fréquence. — L. B.

(1) F. Hamburger. *The physical Review*, 1er mai 1930. t. XXXV (2e série), p. 1119-1124, 2000 mots, 1 figure.

SECTION INDUSTRIELLE

La sous-station automatique Bergerie de la Société d'Éclairage électrique de Cannes

La sous-station à commande automatique décrite ici est destinée à transformer en courant continu, à la tension de 240 à 250 volts, le courant triphasé à 10 000 volts fourni par l'Energie électrique du Littoral méditerranéen. Le réseau alimenté par cette sous-station est le réseau d'éclairage de la ville de Cannes. La transformation est effectuée par un redresseur à vapeur de mercure de 200 kilowatts, du système Brown Boveri ; à cette première particularité que présente cette sous-station s'en ajoute une autre, celle de son fonctionnement automatique. L'auteur décrit en détail, l'équipement assurant l'automaticité de la mise en route, de l'arrêt, de l'entretien du vide dans le redresseur, de la protection et du réglage de la tension. Des diagrammes reproduits à la fin de l'article permettent de se rendre compte des conditions de fonctionnement de cette sous-station, en ce qui concerne les variations de la charge qu'elle doit fournir. Ajoutons que cette installation a fait ses preuves puisqu'elle a été mise en service en 1928 et qu'elle fonctionne depuis cette époque d'une façon entièrement satisfaisante.

I. **Préambule.** — Par suite de la demande croissante d'énergie dans le centre de la ville de Cannes, la Société d'Eclairage électrique fut amenée, en 1927, à envisager la création d'une nouvelle sous-station de transformation du courant alternatif en courant continu. Elle décida d'employer des redresseurs à vapeur de mercure : ces appareils, dont le principe et les particularités de fabrication ont été décrits à maintes reprises dans cette revue, ont pour qualité primordiale d'être, du fait de leur caractère statique, absolument silencieux, ce qui présente un intérêt certain pour des machines installées en plein centre d'une grande ville de luxe. Après une enquête menée auprès des sociétés de distribution françaises qui utilisent depuis plus ou moins longtemps de semblables convertisseurs, la Société d'Eclairage électrique de Cannes confia à la Compagnie Electro-Mécanique l'installation de la nouvelle sous-station Bergerie avec un redresseur à vapeur de mercure à grand débit, système Brown Boveri. D'ailleurs, ce choix permettait à l'exploitant d'obtenir plus facilement du constructeur qu'il remplisse une deuxième condition fort importante : celle d'un fonctionnement absolument automatique, supprimant ainsi une main-d'œuvre toujours plus coûteuse. Les redresseurs à vapeur de mercure, en raison de leur extrême simplicité de mise en route et d'arrêt, s'accommodent, en effet, mieux que tout autre appareil de la marche automatique.

II. **Dispositions générales de l'installation.** — Dans son état actuel, la sous-station Bergerie comporte : une arrivée à 10 000 v, à courant triphasé 25 p : s, avec les appareils normaux de protection ; un groupe transformateur et redresseur à vapeur de mercure, de 200 kw, avec son appareillage de protection et de réglage permettant d'obtenir en courant continu, une tension variable entre 240 v à vide et 250 v en charge, quelles que soient les variations de la tension primaire pourvu que celle-ci reste comprise entre 9 000 et 11 000 v ; un transformatenr de 5 kv-a, 10000/220 v, pour l'alimentation des différents services auxiliaires ; un groupe d'équilibre rotatif établissant le point neutre de la distribution à trois fils, 2 × 125 v, et permettant la compensation des déséquilibres possibles allant jusqu'à 25 kw ; deux lignes de départ ; les tableaux de contrôle et de mesure contenant, en outre, tout l'appareillage automatique.

Ce matériel est réparti de la façon suivante dans le bâtiment : au niveau du sol se trouvent, à droite en entrant, le redresseur et son groupe d'entretien du vide, le transformateur, la bobine d'absorption (fig. 1) ; à gauche : les panneaux de départs, le groupe d'équilibre et son tableau de commande, puis les deux tableaux portant les appareils de contrôle et de commande du redresseur (fig. 2). Sur une passerelle, située au-dessus des derniers appareils, se trouvent la cellule d'arrivée à haute tension, le transformateur de 5 kv-a pour les services auxiliaires, l'interrupteur à haute tension, l'interrupteur à gradins, pour le réglage de la tension continue et l'appareillage pour l'allumage et l'excitation.

Au-dessus de la sous-station, un réservoir d'eau d'une capacité de 8 m³ permet la réfrigération en cycle fermé du cylindre et de la pompe statique.

La sous-station est alimentée en courant triphasé à 10 000 v, 25 p : s, au moyen d'un câble souterrain, par le réseau de l'Energie électrique du Littoral méditerranéen ; il n'existe qu'un ampèremètre sur la haute tension, l'appareillage de comptage se trouvant au départ, au poste de coupure de Mougins.

III. **Conditions de fonctionnement imposées et principe de leur réalisation.** — Le fonctionnement automatique de la sous-station satisfait aux conditions suivantes ;

1° Mise en route et arrêt automatiques de la sous-station à des heures déterminées et fixées à l'avance;

2° Fonctionnement automatique des pompes à vide en fonction du degré du vide existant dans le cylindre redresseur;

3° Réenclenchements automatiques du groupe transformateur-redresseur, après une surcharge d'origine extérieure ou une perturbation interne, avec limitation à trois du nombre de réenclenchements successifs et blocage de l'installation en cas de dérangements persistants ;

4° Réglage automatique de la tension continue entre 240 v pour le courant de 10 A environ et 250 v pour le courant de pleine charge de 800 A, et cela, quelles que soient les variations de la tension primaire, pourvu que cette dernière reste comprise entre 9000 et 11000 v;

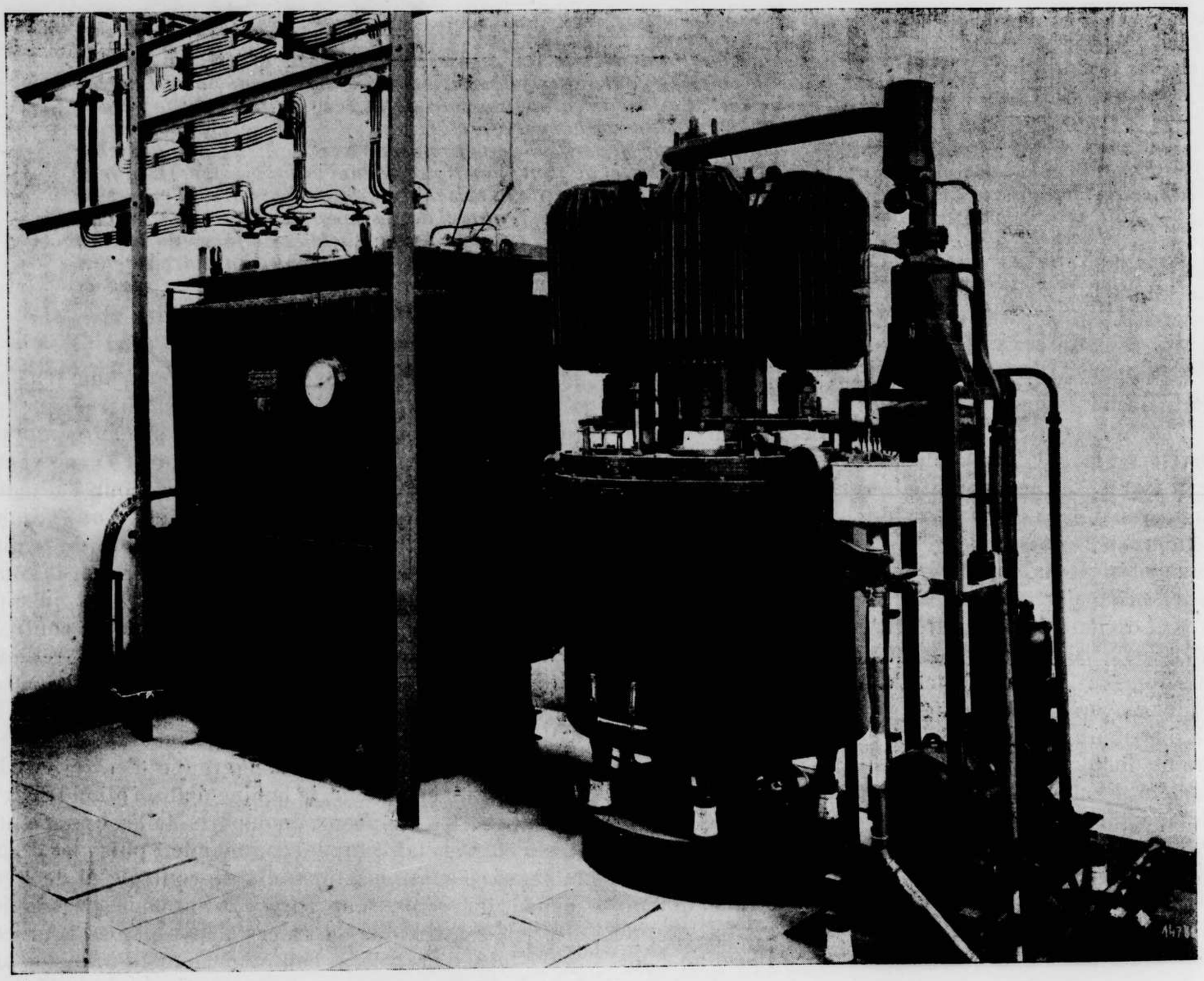


Fig. 1. — Vue intérieure de la sous-station du côté du redresseur.

5° Mise hors circuit de la sous-station lorsque la tension primaire dépasse 12 000 v, et réenclenchement automatique de la sous-station dès que la tension primaire a diminué au-dessous de cette valeur;

6° Enclenchement de la sous-station sur le réseau à courant continu, seulement lorsque la tension de ce dernier est au moins égale à 200 v;

7° Blocage de la sous-station en cas de vide insuffisant à l'intérieur du cylindre ou lorsque la température du cylindre atteint 55°C; la sous-station ne peut être remise en service que lorsque les causes du blocage sont supprimées;

8° Signalisation lumineuse à la sous-station même et acoustique à la sous-station « Bivouac »,qui est la plus rapprochée, d'une mise à l'arrêt complet du groupe transformateur-redresseur en cas de perturbation persistante ou d'une avarie au matériel;

9° Alimentation des lignes de distribution, seulement possible si le groupe d'équilibre est en marche et si le point neutre est créé, ceci afin d'éviter une ten-

sion trop élevée aux bornes des lampes du pont le moins chargé de la distribution à trois fils;

10° Réglage manuel de la tension et commande manuelle du groupe transformateur redresseur pour remplacer les commandes automatiques en cas d'anomalies.

Ainsi qu'on le voit, le nombre et la complexité des conditions de fonctionnement les rendaient assez difficiles à remplir. Néanmoins, grâce aux appareils récemment mis au point. elles ont été parfaitement réalisées, et, depuis sa mise en service le 1er juin 1929, cette sous-station a fonctionné de façon très satisfaisante.

Le principe du fonctionnement automatique est le suivant : A l'heure désirée, l'interrupteur horaire

Fig. 2.— Vue intérieure de la sous-station du côté du tableau.

donne l'ordre d'enclenchement, par l'intermédiaire de l'appareil de commande 22 (fig. 3), ce qui provoque la fermeture du dispositif de commande de l'interrupteur à haute tension. Un interrupteur rotatif, commandé par l'arbre de l'interrupteur à haute tension, ferme le circuit d'allumage et d'excitation, ainsi que celui de la vanne automatique de la conduite d'arrivée d'eau de réfrigération du cylindre.

En même temps que l'appareil 22 provoque l'enclenchement de l'interrupteur à haute tension, il met également sous tension le relais temporisé 24 qui ferme le circuit d'enclenchement du disjoncteur à courant continu; la fermeture de ce dernier a été retardée de quelques secondes, de façon à attendre que l'excitation s'établisse normalement et que le courant redressé puisse alimenter l'électroaimant dudit disjoncteur.

Un commutateur rotatif commandé par le disjoncteur à courant continu ferme le circuit des contacteurs de démarrage et de travail du groupe d'équilibre; quand ce dernier est en ordre de marche, le point neutre est créé. Le contacteur bipolaire 4 se ferme, le groupe transformateur-redresseur est prêt à débiter sur les lignes de distribution.

La mise en service requiert une durée de trente secondes.

IV. **Caractéristiques des appareils automatiques de commande.** — 1. Appareil de commande type 9. — L'appareil type 9 (fig. 4 et fig. 5), représenté en 22 sur le schéma de la figure 3 et qui sert à assurer le service automatique du groupe transformateur-redresseur, possède deux servomoteurs I, II et des relais A, B, C (fig. 4). Le premier servomoteur entraîne les contacts auxiliaires et principaux a_1, a_2, b_1, b_2, k, l, et m; le second, les contacts, c, d, e, g, h, i, u et v. Chaque servomoteur est composé d'un induit bipolaire muni d'un enroulement qui est alimenté par le courant du réseau. Cet induit est placé dans un champ magnétique constant fourni par un aimant permanent en acier; il est, d'autre part, fixé à un fort ressort, réglé de façon qu'il oscille synchroniquement avec la fréquence du champ créé par le courant du réseau auxiliaire. Le mouvement oscillatoire de l'induit se transmet à l'arbre de commande qui tourne d'un mouvement continu.

Un engrenage fixé à l'extrémité arrière de l'arbre de commande entraîne l'arbre sur lequel sont fixés les contacts principaux et auxiliaires. Au cours d'une opération d'enclenchement d'une durée variant de 10 à 60 s, chaque servomoteur absorbe une puissance de 5 w et les différents dispositifs de commande sont alimentés sous la tension de 60 v à la fréquence de 25 p : s. Cet appareil remplit les conditions suivantes : il assure l'exécution des ordres d'enclenchement et de déclenchement, en provoquant le fonctionnement approprié des différents dispositifs de commande; il signale la non exécution d'un ordre d'enclenchement, si, à la suite de plusieurs essais, cet ordre n'a pu être rempli; il assure la mise hors service et le blocage du groupe transformateur-redresseur à la suite d'une perturbation quelconque de ce dernier, et la signalisation lumineuse du genre de perturbation; il empêche la mise en service du redresseur, si la tension continue du réseau est inférieure à 200 v au même moment; ceci, pour éviter un appel de courant trop intense, par suite de la grande différence de tension entre le réseau et le redresseur. Ce n'est que quand la tension du réseau est supérieure à 200 v, que le relais 20 permet à l'appareil I d'exécuter l'ordre d'enclenchement et de mise en marche du groupe; il met hors service le groupe, si la tension du réseau d'alimentation croît jusqu'à 12 000 v, et le remet automatiquement en service, si cette dernière redescend à 11 000 v.

Le dispositif de commande I avec les contacts a_1, a_2, b_1 et b_2 prend une position déterminée, suivant qu'il

reçoit un ordre d'enclenchement ou de déclenchement. Il transmet les ordres d'enclenchement reçus d'une façon continue au dispositif inférieur II, tandis qu'il provoque lui-même le déclenchement.

Deux fiches 25 permettent de choisir le mode de commande que l'on désire. Les différentes positions de ces fiches réalisent les commandes suivantes :

1° *Fiche en attente pour le groupe futur.* — Ce dernier se mettra automatiquement en service, lorsque le groupe en marche sera à pleine charge ou qu'il se bloquera pour les causes énumérées au paragraphe III.

2° *Protection.* — Grâce aux relais à maximum de tension alternative (12 000 v) et à minimum de tension continue (200 v), le groupe redresseur est branché lorsque la tension du réseau est supérieure à 200 v et débranché lorsque la tension atteint 12 000 v; dès qu'elle redescend à 11 000 v, le groupe se remet automatiquement en service.

3° *Horloge.* — Le groupe est mis en service et arrêté par l'horloge aux heures désirées.

4° *Marche.* — L'installation est continuellement en service.

5° *Arrêt.* — L'installation est complètement arrêtée.

En marche normale automatique, les deux fiches de commande sont placées en 2° et 3°.

Lorsqu'il n'existe aucun empêchement de mise en service, comme, par exemple, la haute tension trop élevée ou la tension du réseau inférieure à 200 v, et dès que l'horloge a transmis l'ordre de mise en marche à l'appareil de commande 22, celui-ci, après vingt secondes, commande l'enclenchement de l'interrupteur à haute tension et la

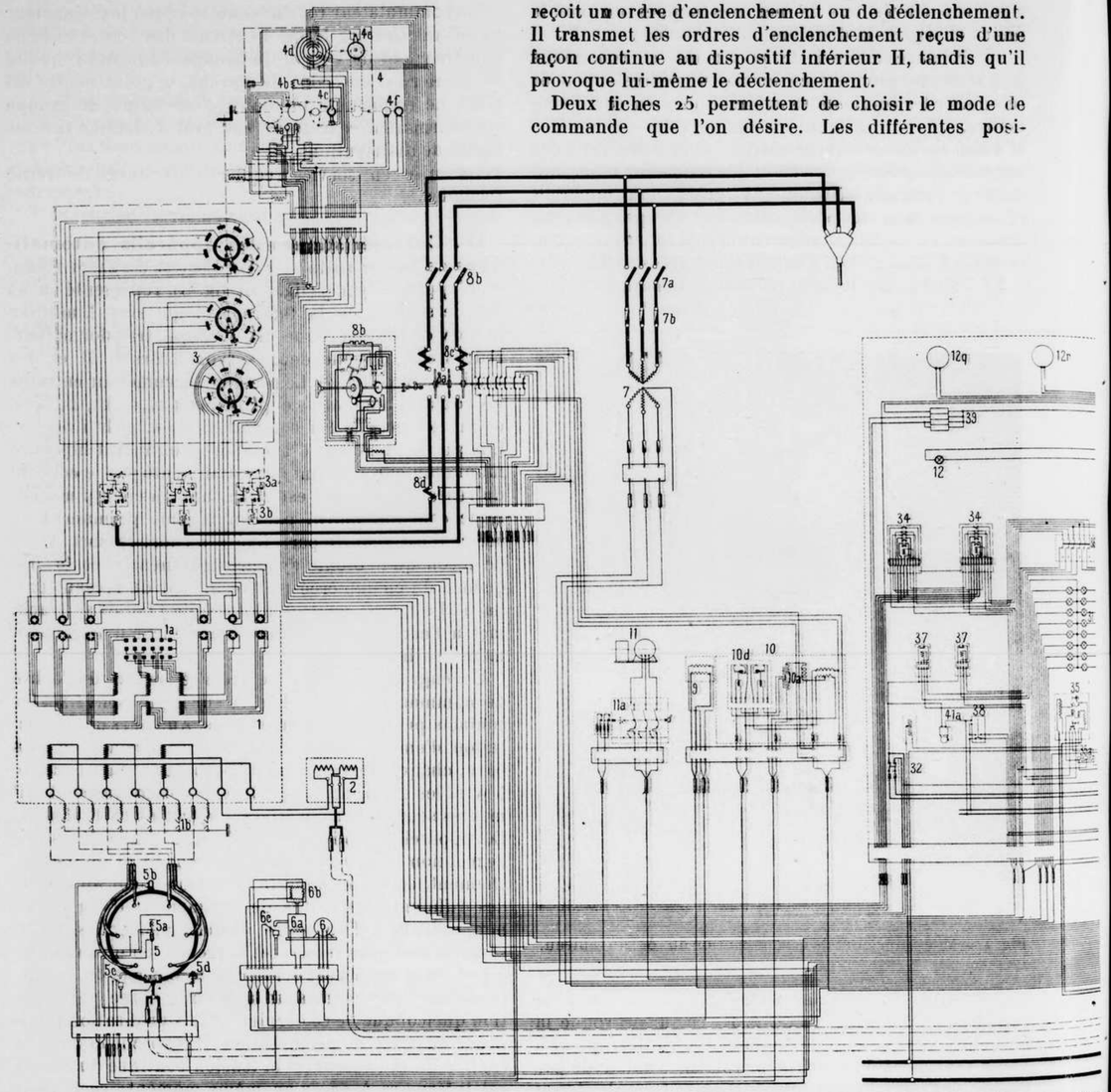


Fig. 3. — Schéma général des connexions : 1, transformateur d'alimentation du redresseur ; 1 a, commutateur de prises ; 1 b, parafoudres à cornes ; 2, bobine d'absorption ; 3, commutateur tripolaire à gradins ; 3 a, interrupteur pare-étincelles ; 3 b, résistance de choc ; 4, commande électrique par moteur de 3 ; 4 a, moteur ; 4 b, électroaimant de blocage ; 4 c, interrupteur de fin de course pour un tour ; 4 d, commutateur de fin de course et indicateur de position ; 4 e, commutateur de fin de course ; 4 f, contacts auxiliaires du « graduateur » de tension ; 5, cylindre redresseur à vapeur de mercure ; 5 a, bobine d'allumage ; 5 b, thermomètre avertisseur du redresseur ; 5 c, indicateur de manque d'eau ; 5 d, robinet automatique ; 6, pompe rotative à vide préalable ; 6 a, pompe statique à vide élevé avec plaque de chauffe ; 6 b, groupe de résistances bolométriques montées en pont de Wheatstone ; 6 c, avertisseur de manque d'eau ; 7, transformateur des services auxiliaires ; 7 a, sectionneurs. 7 b, coupe-circuit ; 8, sectionneurs ; 8 a, interrupteur automatique tripolaire à bain d'huile ; 8 b, commande électrique par moteur ; 8 c, relais directs à courant maximum à réglages indépendants du temps et du courant ; 8 d, transformateur de courant ; 9, transformateur d'isolement de la plaque de chauffe de 6 a ; 10, groupe d'allumage et d'excitation ; 10 a, transformateur d'excitation ; 10 b, inductance d'excitation ; 10 c, résistances combinées d'allumage et d'excitation ; 10 d, relais spécial d'allumage et d'excitation ; 11, groupe moteur-pompe de circulation d'eau ; 11 a, coffret de manœuvre ; 12, groupe d'équilibrage des deux ponts ; 12 a, induits ; 12 b, inducteurs ; 12 c, rhéostats d'excitation ; 12 d, interrupteur principal de 12 ; 12 e, interrupteur du réseau auxiliaire ; 12 f, contacteur principal ; 12 g, contacteur de démarrage ; 12 h, contacteur de démarrage ; 12 i, relais à courant maximum verrouillé ; 12 j, relais d'accélération 12 k, relais de tension ; 12 l, fusibles ; 12 m, contacts auxiliaires ; 12 n, relais de champ ; 12 o, interrupteur de commande à distance du groupe d'équilibre ; 12 p, résistance additionnelle ; 12 q, ampèremètre pour les deux machines ; 12 r, ampèremètre pour le fil neutre ; 12 s, lampe de position ; 12 t, bouton de déverrouillage du contacteur de protection ; 12 u, shunts ; 13, galvanomètre ou indicateur thermoélectrique de vide ; 13 a, résistances additionnelles ; 13 b, transformateur de mesure du vide ; 13 c, résistances ; 14, ampèremètre pour le côté primaire du transformateur 1 ; 15, voltmètre pour le côté à courant continu du redresseur ; 16, ampèremètre pour le côté continu du redresseur ; 17, ampèremètre pour l'excitation du groupe transformateur-redresseur ; 18, appareil de commande automatique type 12 du dispositif d'entretien du vide ; 19, interrupteur rotatif à quatre positions à 13 pôles pour le dispositif d'entretien du vide ; 20, relais voltmétrique actionnant le contacteur 20 a ; 20 a, contacteur à triple contact ; 21, relais unipolaire voltmétrique actionnant le contacteur 21 a ; 21 a, contacteur à triple contact ; 22, appareil de commande automatique type 9 du groupe redresseur ; 23, interrupteur rotatif à 3 positions et à 10 pôles pour la commande automatique du redresseur ; 23 a, bouton de déblocage ; 24, relais temporisé de maintien ; 24 a, bouton de fermeture à main du disjoncteur 27 ; 25, commutateur à fiches pour marche automatique ou non ; 26, commutateur de commande pour l'interrupteur 8 a ; 27, disjoncteur à courant continu ; 28, lampes de position pour l'interrupteur 8 a ; 29, (*suite à la page 828*)

mise sous tension du relais temporisé d'enclenchement du disjoncteur à courant continu ; à l'extrémité de l'arbre de l'interrupteur à haute tension se trouve une roue dentée qui commande, à l'aide d'une chaîne galle, un interrupteur rotatif à 10 pôles. Cet interrupteur ferme le circuit primaire du transformateur d'excitation 10 a (fig. 3) et la bobine d'allumage du redresseur 5 a est excitée par l'intermédiaire du relais 10 d ; elle attire l'anode d'allumage et fait plonger celle ci dans le mercure de la cathode ; dès qu'elle entre en contact avec le mercure, un courant circule dans le circuit formé par le secondaire du transformateur d'excitation, la résistance d'allumage, les contacts du relais d'allumage, la résistance d'excitation, la bobine de self-inductance d excitation et le point neutre du transformateur d'excitation.

L'arc d'excitation s'étant établi et les anodes de travail du redresseur étant alimentées, il existe immédiate-

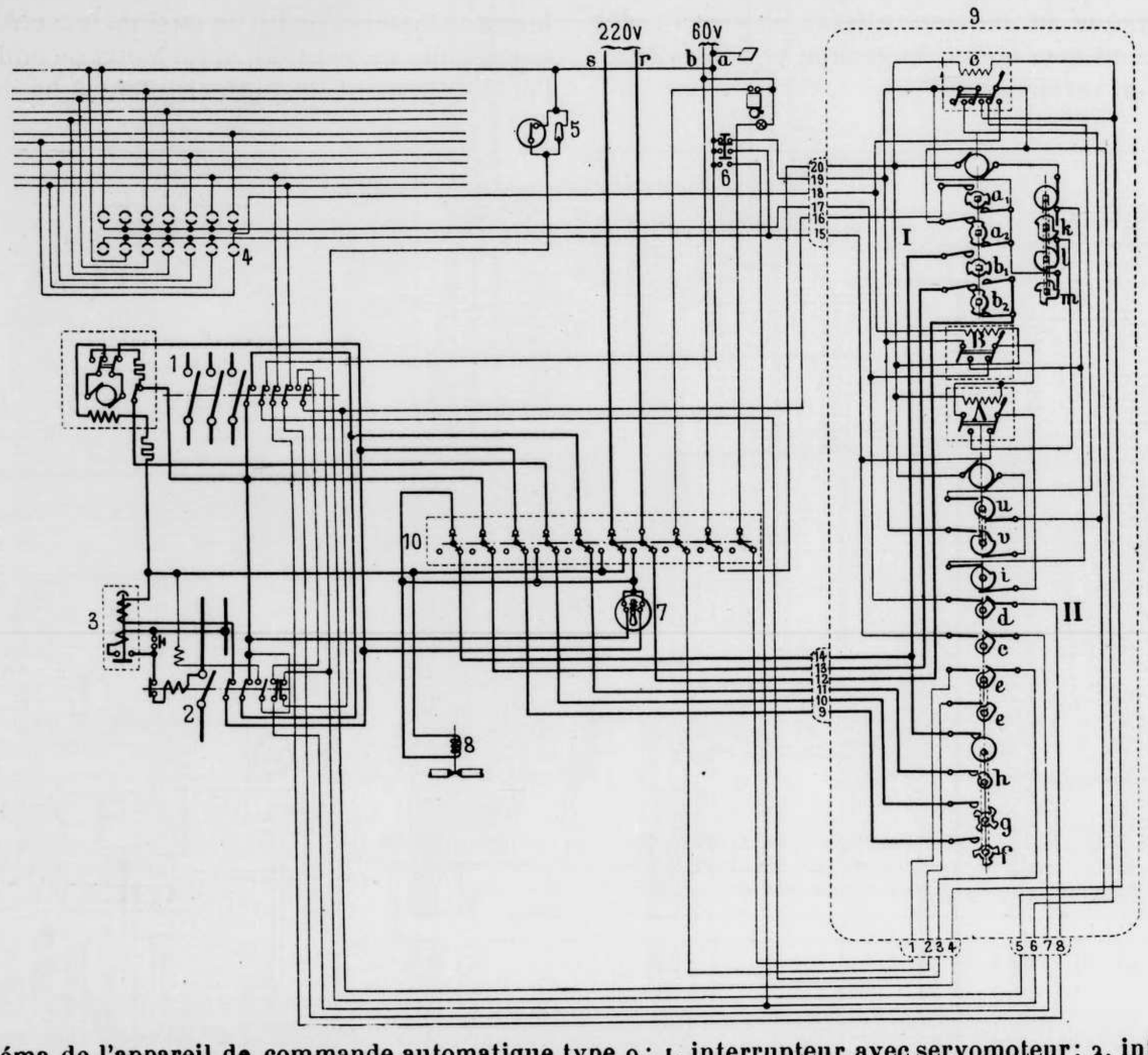


Fig. 4. — Schéma de l'appareil de commande automatique type 9 : 1, interrupteur avec servomoteur ; 2, interrupteur avec commande par électroaimant ; 3, relais ; 4, commutateur à fiches ; 5, indicateur de vide et thermomètre ; 6, bouton de déblocage ; 7, commutateur de commande ; 8, vanne à eau automatique ; 9, appareil de commande type 9 ; 10, interrupteur rotatif à trois positions « automaticité », « commande électrique », « déclenché ».

ment une tension redressée à la cathode. La bobine de maintien du relais 24 est excitée à l'aide de courant continu et ferme le circuit de l'électroaimant de commande du disjoncteur à courant continu. Les barres générales sont donc sous tension et prêtes à alimenter les lignes de distribution. A l'aide du commutateur rotatif commandé par le disjoncteur à courant continu, le circuit auxiliaire de mise en marche automatique du groupe d'équilibre est fermé. Ce groupe, dès qu'il est en marche normale et que le point neutre est formé, permet au contacteur 33 de s'enclencher et le redresseur débite sur le réseau. Ce commutateur asservit

(*Suite de la légende des pages 826 et 827*) lampes de position pour le disjoncteur 27 ; 30, bouton-poussoir pour la commande automatique du redresseur ; 31, tableau de signalisation lumineux des causes de perturbations ; 32, interrupteur de commande du circuit auxiliaire ; 33, commutateur pour commande manuelle du commutateur 3 ; 34, relais contacteur ; 35, relais de tension compoundé système Mauron ; 35 a, résistance d'asservissement du relais 35 ; 35 b, shunt pour le compoundage de 35 ; 36, interrupteur hexapolaire pour la mise hors circuit ou en circuit de 35 ; 37-37 a, relais contacteurs temporisés « tension augmente » et « tension diminue » commandés par le relais 35 ; 38, interrupteur horaire pour la mise en route et l'arrêt automatique de l'installation ; 39, signal optique ; 40, sectionneur pour le pôle négatif ; 41, transformateur auxiliaire 220/60 v ; 41 a, sonnerie d'alarme ; 42, sectionneur pour le pôle positif ; 43, contacteur 1 000 A sur jeu de barres.

également les circuits auxiliaires de commande de l'interrupteur à gradins, dès que le disjoncteur est fermé ; le régulateur de tension peut donc régler cette dernière. L'interrupteur à haute tension et le disjoncteur à courant continu sont verrouillés entre eux, de telle sorte que tous deux sont enclenchés ou déclenchés.

2. Protection. — Le groupe transformateur-redresseur est protégé du côté primaire, par des relais directs à courant maximum. En cas de surcharges d'origine extérieure, le groupe est branché à nouveau trois fois, à des intervalles de trente secondes, une minute et deux minutes. Si, au troisième réenclenchement des

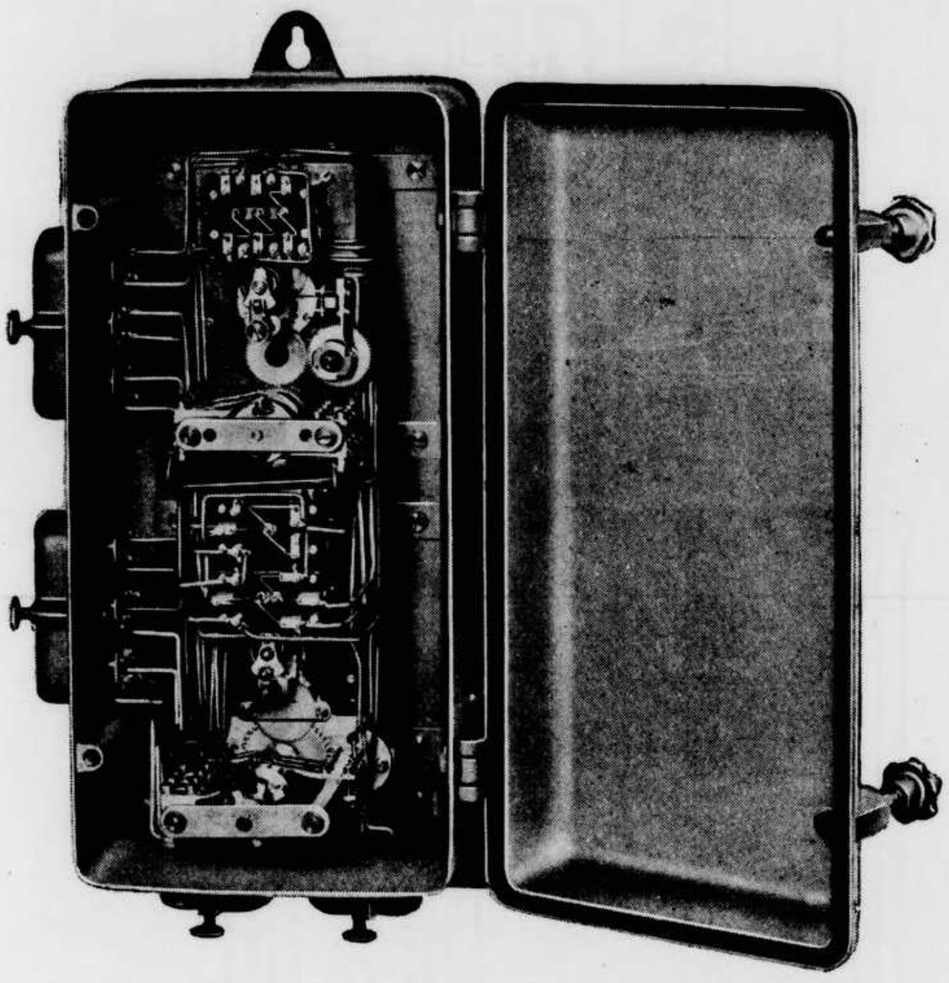


Fig. 5. — Vue de l'appareil de commande automatique type 9 ouvert.

interrupteurs, la surcharge subsiste, le groupe se bloque. Ces réenclenchements sont exécutés automatiquement par l'appareil 22 qui signale à la sous-station que le groupe est bloqué et ferme le circuit de la sonnerie à la sous-station Bivouac.

La plupart des lignes de distribution étant bouclées, toutes les unités des sous-stations en service travaillent en parallèle. Les caractéristiques externes des unités étant approximativement les mêmes et l'emplacement des sous-stations ainsi que leur puissance ayant été judicieusement choisis, la marche en parallèle est stable et les charges se répartissent uniformément.

Bien que les retours d'allumage dans les cylindres soient extrêmement rares actuellement, on a néanmoins prévu la protection sélective du groupe, afin qu'en cas de perturbation interne, celui-ci puisse être déconnecté immédiatement du réseau à courant alternatif et du réseau à courant continu. On sait, en effet, qu'un retour d'allumage équivaut à un court-circuit franc dans le réseau, sur lequel toutes les machines débitent en parallèle.

Dans le cas présent, les sous-stations sont suffisamment éloignées ; seul le groupe redresseur déclenche, grâce à la protection sélective, les groupes convertisseurs des autres sous-stations continuant à alimenter le réseau.

Le système de protection utilisé est basé sur l'inversion du sens du courant normal, au moment du retour d'allumage. Ce courant passe des barres générales à courant continu, par l'interrupteur 27, par la cathode et par l'arc d'allumage en retour dans l'anode avariée ; de là, par la phase secondaire correspondante du transformateur, il rejoint le pôle négatif du réseau.

Un courant de retour de ce genre ne peut se produire qu'en cas de court-circuit interne. Un relais polarisé, placé aux bornes d'un shunt dans le circuit de cathode, est utilisé pour actionner mécaniquement le déclenchement du disjoncteur à courant continu et indirectement, celui de l'interrupteur à haute tension, par l'intermédiaire de contacts auxiliaires et d'un transformateur de courant placé dans le circuit primaire.

Le fonctionnement est le suivant : lors d'un allumage en retour, le courant de retour est très intense ; il crée aux bornes du shunt une différence de potentiel qui fait circuler dans le relais un courant donnant un couple suffisant pour faire déclencher le disjoncteur à courant continu. Ce dernier ouvre simultanément ses contacts auxiliaires qui shuntent, en service normal, les connexions reliant le transformateur de courant à l'électroaimant de déclenchement de l'interrupteur à haute tension. Ce dispositif permet d'obtenir des temps de déclenchement très courts avec un nombre minimum de relais et de contacts auxiliaires.

Cette protection est efficace et limite la mise hors service à celle du redresseur incriminé. Les groupes convertisseurs continuent à assurer l'alimentation des feeders et, trente secondes après le déclenchement, le redresseur est remis automatiquement en service par l'appareil 22 et débite à nouveau sur les barres générales.

Afin d'éviter des claquages et des amorçages qui peuvent parfois se produire dans le circuit d'alimentation du redresseur, des parafoudres à cornes ont été branchés entre chaque anode de travail et la terre, en série avec une résistance d'amortissement dont la valeur est calculée en fonction de la tension de service ; lorsqu'il se produit des surtensions dues au fonctionnement même du redresseur, celles-ci sont directement écoulées à la terre.

3. Réfrigération. — Une vanne automatique placée à l'arrivée de l'eau de réfrigération du cylindre s'ouvre à la mise en service. Une pompe centrifuge, continuellement en marche, fait circuler l'eau en cycle fermé, du réservoir de 8 m³ au redresseur. A l'arrêt de celui-ci, la vanne automatique est immédiatement fermée.

4. Dispositif d'entretien du vide. — 1° *Fonctionnement du groupe de pompes à vide.* — Le groupe de pompes,

pour l'entretien du vide, se compose d'une pompe rotative, dont les palettes baignent dans de l'huile spéciale. Cette pompe est entraînée par un petit moteur asynchrone ; une pompe à vapeur de mercure, pour l'obtention du vide élevé, est montée en série avec la première. Le mercure de la pompe à vide élevé est vaporisé à l'aide d'une plaque de chauffe et une circulation d'eau fraîche en provoque la condensation. La pompe à vide préalable possède un robinet à commande automatique par huile sous pression. Dès que cette pompe a atteint une certaine vitesse, une petite pompe à engrenages, entraînée en bout d'arbre, crée une pression d'huile suffisante sur un piston qui ouvre le robinet.

Lorsque la vitesse revient à une valeur minimum déterminée, la pression créée par la pompe à engrenages n'est plus suffisante pour maintenir le robinet ouvert ; un ressort antagoniste le ferme à ce moment, c'est-à-dire peu avant l'arrêt complet de la pompe à palettes.

Le groupe de pompes pour l'entretien du vide dans le redresseur fonctionne indépendamment de ce dernier, en fonction de la pression existant dans le cylindre. L'indicateur de vide thermoélectrique, basé sur le principe de la variation du coefficient de conductibilité des gaz en fonction de leur pression, réalise l'asservissement des pompes par l'intermédiaire du galvanomètre et de l'appareil 18. Le galvanomètre est analogue à un instrument à cadre mobile, à ceci près que l'aimant permanent est remplacé par un électro-aimant alimenté sous courant constant. Cet appareil est gradué de façon à donner directement la pression en millièmes de millimètres représentant la hauteur de la colonne de mercure correspondant à la pression mesurée. Il possède trois contacts auxiliaires, dont le premier placé en face des divisions 1 et 3, c'est-à-dire 0,001 et 0,003 mm, sert à arrêter la pompe à vide préalable. Le second contact, placé en face des divisions 11-15, respectivement 0,011-0,015 mm, met la pompe à vide préalable en service et le troisième, placé en face des divisions 30-35, respectivement 0,030-0,035 mm de mercure, bloque l'installation, car, à cette valeur, le vide est considéré comme étant insuffisant et néfaste au bon fonctionnement du redresseur, pouvant ainsi créer des amorçages entre anodes. Un signal lumineux dans la sous-station indique que le groupe est bloqué, tandis qu'une sonnerie installée à la sous-station Bivouac prévient qu'une anomalie est survenue dans le fonctionnement et nécessite la visite de l'installation ; c'est seulement après élimination de la cause du blocage que l'on peut remettre la sous-station en service, en appuyant sur le bouton de déblocage 23 a (fig. 3) prévu à cet effet.

2° *Description et fonctionnement de l'appareil de commande type 12.* — L'appareil 18 du type 12 sert à la commande automatique du dispositif pour l'entretien du vide dans le redresseur, en fonction de la pression des gaz dans celui-ci et à la signalisation des perturbations en service ou du manque d'eau de réfrigération du redresseur. Il se compose (fig. 6 et fig. 7), d'un servomoteur de commande A, qui entraîne les contacts a, b, c, d et e ; d'un servomoteur

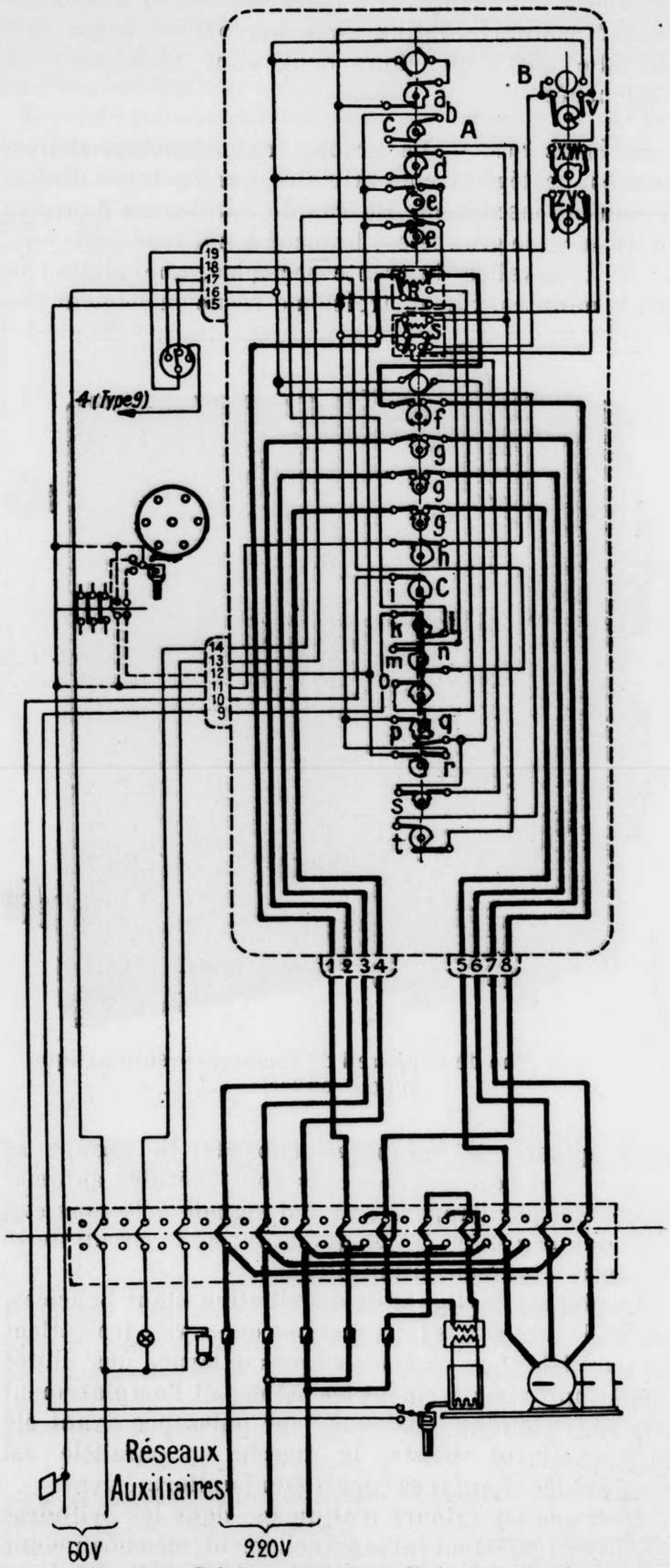


Fig. 6. — Schéma de l'appareil de commande automatique type 12.

de commande C, qui entraîne les contacts f à t ; d'un relais de courant R qui est traversé par le courant de

la plaque de chauffe de la pompe à vide élevé; d'un relais à tension nulle S connecté au réseau auxiliaire.

Chaque servomoteur de commande se compose du même dispositif d'entraînement que ceux décrits pour l'appareil 9. Cet appareil répond aux conditions de services suivantes :

Le servomoteur de commande A est destiné à brancher ou à débrancher les circuits d'alarme. Les contacts e sont munis de cames à rupture brusque ; leur enclenchement est provoqué environ vingt secondes après l'excitation de leur servomoteur de commande. Les contacts a, b, c et d, effectuent un mouvement continu de rotation. Chaque fois que le servomoteur du dispositif A est excité, il opère trois quarts de révolution

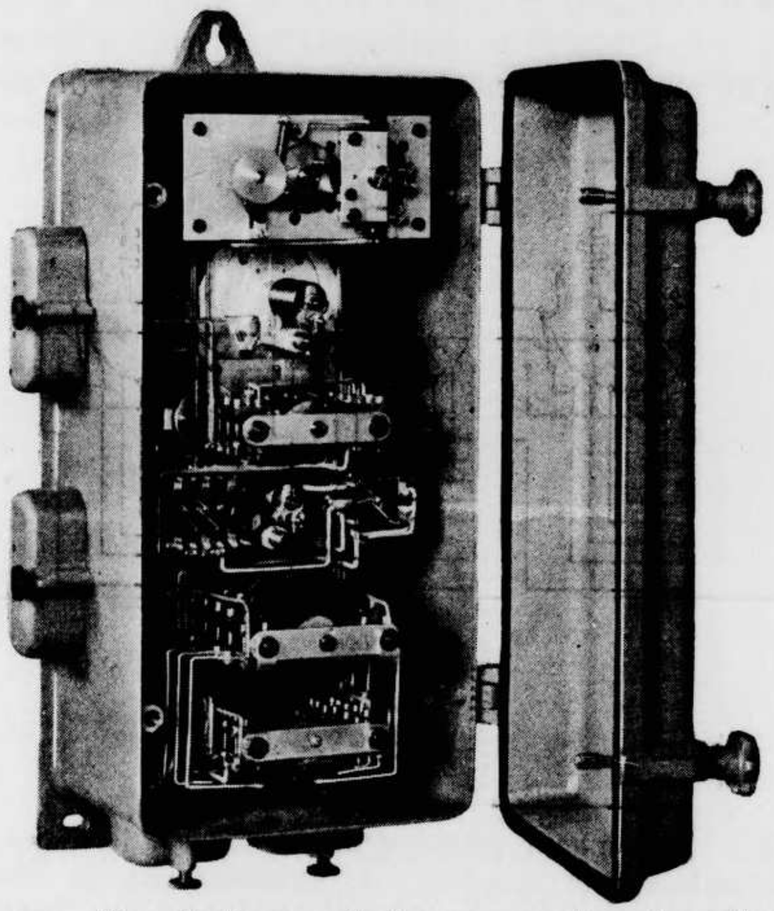


Fig. 7. — Vue de l'appareil de commande automatique type 12 ouvert.

pour passer à la position de signalisation et un quart de révolution pour déconnecter la signalisation ; pour opérer une révolution complète, ce dispositif met 90 s.

Le servomoteur de commande C ferme le circuit du groupe de pompes ; chaque fois qu'il est excité, il effectue un quart de révolution. Le contact f est destiné à brancher la plaque de chauffe de la pompe statique à vide élevé ; il reste fermé pendant les trois quarts d'une rotation. Les contacts g branchent la pompe à vide préalable ; le circuit de cette pompe est fermé pendant le quart de la rotation. Les contacts f, g, h, sont à rupture brusque : ils opèrent un quart de révolution en 15 s. L'enclenchement de ces contacts se fait 3 s après l'excitation du servomoteur C. Le contact h met hors circuit le dispositif d'alarme A lorsque l'eau de réfrigération du redresseur circule. Les contacts i, k, m, o, p, z, s, t, m, v, sont reliés électriquement et destinés à la commande du servomoteur de commande C.

La réfrigération de la pompe à vide élevé se fait par eau courante, car l'efficacité de cette pompe dépend, dans une certaine mesure, de la température de l'eau de réfrigération.

L'eau de réfrigération de la pompe, continuellement en service, passe par un avertisseur de manque d'eau, constitué par un godet percé d'un orifice d'écoulement réglable, et monté à l'une des extrémités d'un balancier. Si l'eau fait défaut, le contrepoids monté à l'autre extrémité du balancier le fait basculer ; grâce aux contacts qui se trouvent commandés par cet appareil, les circuits de signalisation « eau manque » sont alimentés, ainsi que la sonnerie à la sous-station de Bivouac et, simultanément, les deux pompes sont mises hors service.

Cette mise hors service simultanée évite l'entraînement du mercure de la pompe à vide élevé dans la pompe à vide préalable, ce qui nuirait à leur bon fonctionnement. Lorsque l'eau revient, le relais ayant signalé l'avarie n'est plus alimenté et tout l'ensemble reprend sa position initiale.

5. Réglage automatique de la tension continue. — Le réglage de la tension continue s'effectue en agissant du côté du courant alternatif, sur les prises de réglage du transformateur principal, connectées à un commutateur à gradins (fig. 8 et fig. 9) ; ce mode de réglage a été choisi de préférence à l'emploi d'un régulateur d'induction, en raison de son faible prix de premier établissement et de son rendement plus élevé, car les pertes dans le commutateur sont nulles et celles du transformateur sont fonction de la position de la prise connectée et de la charge.

Par contre, le réglage se fait d'une façon discontinue ; mais, dans le cas présent, les variations de tension d'un plot à l'autre, de 3,5 v entre fils extrêmes, sont à peine remarquées sur chacun des deux ponts de 120 v.

Le commutateur à gradins représenté schématiquement sur la figure 9, du type D 9 à six gradins pour chacun des deux sens de variation de la tension, permet des réglages de tension de $\pm$ 24 v, soit 20 pour 100 de la tension moyenne ; la tension réglée est hypercompoundée, soit 240 v à faible charge et 250 v à pleine charge et cela, à la condition que la haute tension ne descende pas en dessous de 9000 v et ne dépasse pas 11 000 v.

La commande de ce commutateur peut se faire à la main ou automatiquement ; dans le premier cas, il suffit de manœuvrer le commutateur qui ferme le circuit des bobines des relais temporisés. Ces derniers, à leur tour, excitent les bobines des relais « augmente » ou « diminue », qui commandent l'interrupteur à gradins. Les relais temporisés 37 et 37 a (fig. 3) servent spécialement lorsque le réglage se fait automatiquement, ceci dans le but d'éviter le fonctionnement intempestif de l'interrupteur à gradins, lorsque la haute tension varie pendant quelques secondes ou lors d'une variation de charge tout à fait momentanée.

Le relais de tension 35 (fig. 3), du type Mauron, est relié aux barres générales à courant continu, l'enroulement en fil fin servant à corriger les variations de

tension et l'enroulement en gros fil, branché aux bornes du shunt, assurant l'hypercompoundage de la tension continue. Ces deux enroulements sont munis de résistances de réglage qui permettent d'obtenir la caractéristique désirée.

Lorsque l'un des contacts du relais de tension est fermé, l'un des relais temporisés est excité. Ce relais ferme, quelques secondes après son excitation (il est réglable jusqu'à trente secondes), le circuit de la bobine shunt des contacteurs 34 (fig. 3) « augmente » ou « diminue » ; les contacts inférieurs de ces relais

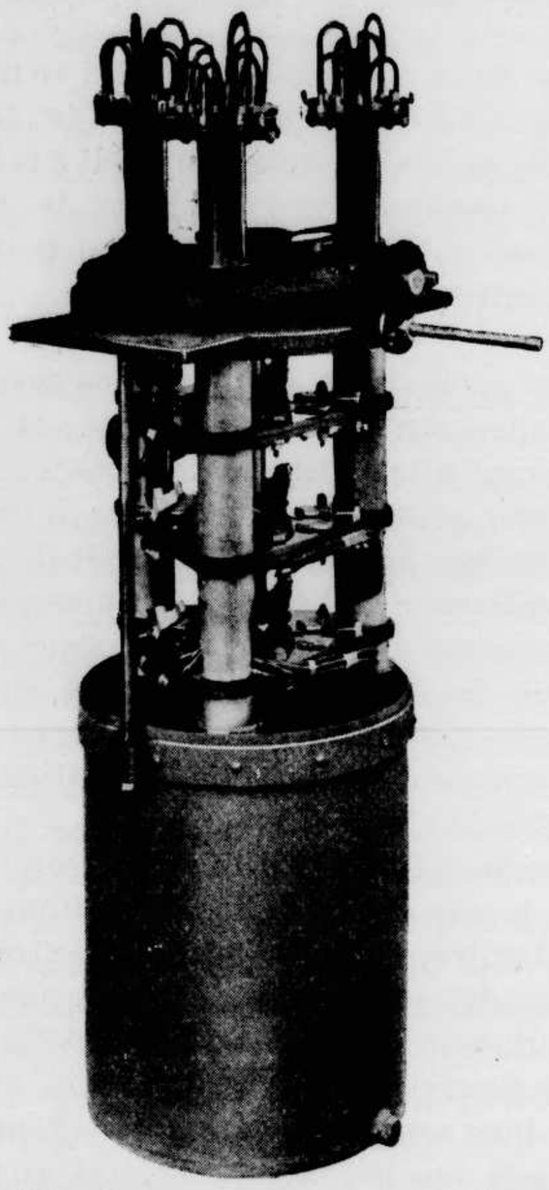


Fig. 8. — Vue du commutateur à gradins type D 9.

ferment le circuit du moteur de commande de l'interrupteur à gradins, tandis que les contacts supérieurs servent à assurer le verrouillage entre les deux relais contacteurs, pour éviter qu'ils soient excités tous les deux à la fois ; les derniers contacts supérieurs servent à insérer ou à mettre en court-circuit alternativement, dans le circuit de tension du relais Mauron, les résistances d'asservissement. Ces résistances ont pour but de ramener le système mobile du relais 35 dans la position médiane.

Dès que l'interrupteur à gradins a effectué une révolution, les relais 34 et 37 (fig. 3) ne sont plus excités, leur alimentation étant coupée par l'interrupteur lui-même. L'électroaimant 4 b (fig. 3) bloque l'arbre ; des contacts auxiliaires permettent de shunter l'induit et de le freiner par des résistances. Une lampe de position indique le plot de réglage obtenu, tandis que le contact 4 f sert à alimenter une lampe rouge dans le cas où le commutateur resterait bloqué dans une position intermédiaire, par suite d'une perturbation.

Pour passer de la commande automatique à la commande manuelle, il faut couper l'interrupteur hexapolaire 36, et agir sur la commande à manette 33.

6. Groupe diviseur de tension. — Le groupe diviseur de tension se compose de deux machines à courant continu en série ; elles sont reliées aux barres par le sectionneur bipolaire 12 d (fig. 3) ; dès que le disjoncteur à courant continu du redresseur est enclenché, le groupe se met automatiquement en service.

Lorsque les barres générales sont sous tension, le relais de tension 12 k est excité et alimente la bobine shunt du contacteur principal 12 f qui se ferme : le courant circule alors dans les résistances de démar-

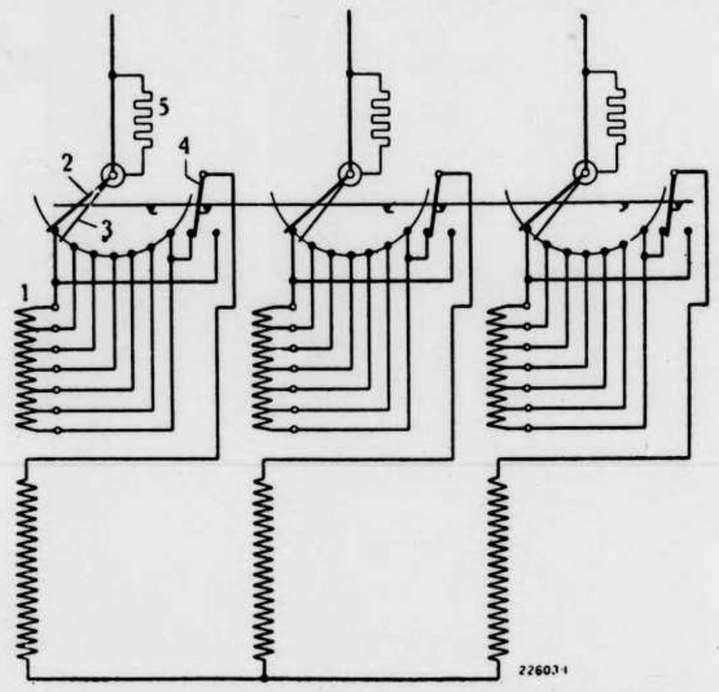


Fig. 9. — Schéma de principe du réglage de la tension par commutateur à gradins : 1, enroulement de réglage ; 2, contact principal ; 3, contact auxiliaire ; 4, contact de commutation pour connexion en série ou en opposition ; 5, résistance de shuntage.

rage, puis, dès que le groupe atteint une certaine vitesse, le relais d'accélération 12 j met en court-circuit une partie de la résistance de démarrage. Ensuite, le deuxième relais d'accélération entre en action, met en court-circuit complètement la résistance et, enfin, lorsque le groupe a atteint sa vitesse normale, le contacteur 12 h branche le point neutre du groupe sur le réseau. Le dernier contacteur possède un contact auxiliaire qui ferme le circuit des bobines shunt du contacteur bipolaire 43 des départs. C'est donc grâce à ce verrouillage, qu'il est impossible d'alimenter les lignes de distribution avant que le groupe d'équilibre soit en service.

Les rhéostats d'excitation sont réglés de façon à compenser un déséquilibre de ± 5 v, ce qui correspond approximativement au déséquilibre moyen constaté pendant l'exploitation.

Les relais de champ 12 n mettent en court-circuit les rhéostats d'excitation au moment du démarrage, afin d'éviter un appel de courant trop intense et de faire

fonctionner les relais à courant maximum verrouillés 12 i.

La mise en service et l'arrêt du groupe d'équilibre peuvent se faire à la main; on a prévu à cet effet le commutateur 12 o dans le circuit d'alimentation des bobines en dérivation des contacteurs. Normalement, ce commutateur est dans la position « automatique ».

7. Dispositif de contrôle et d'alarme. — La signalisation des défauts de fonctionnement de la sous-station est faite par le jeu de signaux lumineux monté sur le tableau. Un circuit à un fil, avec retour par la terre, alimente une sonnerie très bruyante à la sous-station Bivouac qui est toujours surveillée. Si le fonctionnement de la sonnerie persiste un certain temps, la sous-station Bergerie doit être visitée.

Grâce aux signaux lumineux, l'agent de contrôle détermine immédiatement la cause de l'alarme. Cette solution, très simple, évite de nombreuses et coûteuses lignes de liaison entre la sous-station automatique et le poste de contrôle.

V. **Résultats d'exploitation.** — La sous-station automatique Bergerie a été mise en service le 1er juin 1928 et a toujours fonctionné, depuis lors, de la manière la plus satisfaisante. Il a été possible à la Société d'Eclairage électrique de Cannes d'apprécier également les avantages particuliers du redresseur à vapeur de mercure appliqué à un réseau d'éclairage, et ceux de l'appareillage automatique, qui l'ont dispensé complètement d'une surveillance permanente.

Bien que située au milieu d'immeubles habités, le fonctionnement nocturne de la sous-station n'a jamais gêné le voisinage puisqu'aucun organe principal n'est rotatif. Le groupe équilibreur seul aurait été susceptible de se faire entendre à distance, mais comme l'on a pris la précaution d'adopter une vitesse relativement faible, le bruit de cette machine en mouvement est imperceptible.

Le charge de la sous-station Bergerie est essentiellement variable avec les heures de la journée, comme le démontre le diagramme du courant débité représenté sur la figure 10; malgré cela, la tension continue est

Fig. 10. — Diagramme de la charge en ampères relevé à la sous-station Bergerie.

maintenue automatiquement entre des limites très étroites (240 et 250 v) avec hypercompoundage entre la marche à vide et la marche à pleine charge. Le deuxième diagramme (fig 11), reproduisant cette tension redressée, constitue un témoignage précieux du bon fonctionnement du réglage automatique.

Envisagée du point de vue du rendement global, cette sous-station de redresseurs, bien que sa tension d'utilisation soit assez basse, permet cependant d'obtenir aux diverses charges, des valeurs fort intéressantes, qui sont les suivantes :

Charges.....	5/4	4/4	3/4	2/4	1/4
Rendement, en centièmes.	84	85	85,5	85,7	84,5

Ces rendements tiennent compte de la consommation des divers accessoires du groupe, à l'exclusion de celle de la pompe rotative à vide préalable, étant donné son fonctionnement très peu fréquent, et de celle des deux machines du groupe d'équilibre dont les pertes varient constamment suivant le déséquilibre des ponts.

Quoi qu'il en soit, ces deux facteurs négligés volontairement, ne sauraient affecter grandement les valeurs indiquées ci-dessus et il est possible de remarquer que, tout en ayant à pleine charge un rendement du même ordre que celui de n'importe quel groupe convertisseur rotatif, il est permis d'atteindre avec le redresseur un rendement nettement supérieur à toutes autres machines pour les faibles charges. Il en résulte naturellement un rendement moyen journalier relativement élevé.

Le facteur de puissance d'une telle sous-station de redresseurs varie, suivant la charge, de 0,93 à 0,90, ce qui prouve donc qu'à ce point de vue, comme à tous les autres, il est parfaitement justifié de ne pas modifier la nature du courant d'un réseau existant à courant

continu mais de l'alimenter par un réseau à courant alternatif à haute tension à l'aide d'une sous-station de redresseurs.

VI. **Conclusions**. — Ce qui précède prouve l'heureuse adaptation des redresseurs à vapeur de mercure, système Brown Boveri, à l'alimentation des réseaux d'éclairage en courant continu à tension relativement basse. Il était utile de montrer que ces appareils, reconnus surtout intéressants pour la production du courant à haute tension utilisé en traction, pouvaient trouver leur place dans des réseaux à 250 v sans que

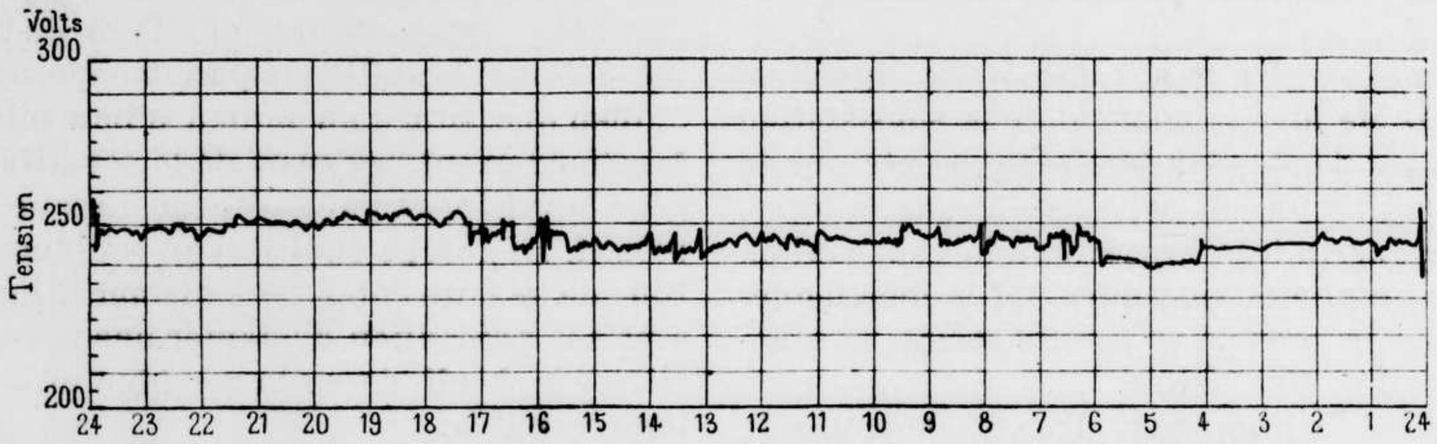


Fig. 11. — Diagramme de la tension redressée de la sous-station Bergerie.

leurs qualités essentielles en soient par trop affectées. De plus, la parfaite mise au point de l'appareillage automatique d'une semblable installation permet de satisfaire aux conditions les plus diverses et les plus compliquées de l'exploitation, et conduit à la suppression complète du personnel de surveillance, satisfaisant ainsi l'un des plus légitimes désirs des sociétés de distribution d'énergie électrique.

On peut espérer que cette première sous-station automatique de redresseurs alimentant un circuit d'éclairage, équipée en France, soit reproduite à de nombreux exemplaires, et sur une plus grande échelle dans la plupart des réseaux de distribution de notre pays.

L. Dourche,
Inspecteur à la Compagnie Electro-Mécanique.

Revues, analyses et informations

Effets des surtensions dues à la foudre sur les machines rotatives et méthodes de protection contre ces surtensions (1).

1. Introduction. — Les auteurs discutent les méthodes de protection contre les surtensions des machines rotatives reliées directement à des lignes aériennes. Deux problèmes sont à envisager. L'un concerne la limitation de la surtension apparaissant entre les bobinages et la masse, l'autre, la limitation de la surtension entre deux spires voisines du bobinage. La surtension entre bobinages et masse dépend principalement de l'amplitude de l'onde transitoire, tandis que celle entre spires voisines dépend à la fois de l'amplitude et du front de l'onde transitoire ainsi que de la capacité et de l'inductance réparties du bobinage.

2. Résultats d'essais. — Afin d'élucider la nature et l'ordre de grandeur des surtensions auxquelles pouvaient être soumises des machines ainsi alimentées, il fut procédé, au laboratoire à haute tension de Trafford City, à une série d'essais sur un compensateur synchrone triphasé d'un type de série, d'une puissance de 5 000 kv-a à 4 000 v, 900 t : mn et 60 p : s comportant deux groupes de bobines en parallèle par phase, chaque groupe étant constitué par huit bobines de cinq spires chacune. Des prises bien isolées étaient sorties de chaque bobine, des surtensions de formes d'ondes variées furent appliquées à des oscillogrammes relevés à l'oscillographe cathodique. Pour des ondes atteignant leur valeur de crête en une demi-microseconde, la surtension maximum apparaissait dans la première bobine et s'élevait à 80 pour 100 de la tension appliquée. La plus grande tension par rapport à la terre apparaissait après cinq microseconde environ et s'élevait à 106 pour 100 de la tension appliquée. Pour des ondes à front beaucoup moins raide, les contraintes étaient plus faibles. C'est ainsi que pour une onde atteignant, par exemple, sa crête en 12 microsecondes, la tension à travers les bobines n'excédait, en aucun point, 20 pour 100 de la tension appliquée.

3. Méthodes de protection. — Indépendamment de la pratique usuelle faisant appel à des parafoudres de conception et de réalisation diverses, les auteurs examinent un certain nombre de solutions tendant à uniformiser la distribution du potentiel le long d'une phase ou à limiter à une valeur donnée la tension aux bornes de chaque bobine. Ces solutions consistent à shunter les premières bobines par des condensateurs ou par des éléments de parafoudre. Les auteurs ont également étudié l'influence de la présence de câbles entre la ligne aérienne et la machine. — M. R.

(1) F.-D. Fielder et Edward Beck *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, septembre 1930, t xlix, p. 784-787, 1 600 mots, 4 figures.

SECTION DE LÉGISLATION

Le projet de réforme de la loi sur les marques de fabrique

Dans cet article, l'auteur analyse le projet de réforme de la loi sur les marques, rapporté à la suite de l'examen effectué par la Commission du Commerce et de l'Industrie de la Chambre des Députés, qui modifie le projet du Gouvernement; il en montre l'économie et l'intérêt pratique.

I. **Introduction**. — M. F. Merlant, député, a dernièrement déposé, au nom de la Commission du Commerce et de l'Industrie de la Chambre des Députés, son rapport à l'appui du texte destiné à se substituer à la loi actuelle du 23 juin 1857 sur les marques de fabrique et de commerce.

D'une façon générale le texte de la Commission, qui amende sur certains points le texte déposé par le Gouvernement, maintient les principes généraux d'une loi, qui s'est révélée à l'usage excellente, en complétant les lacunes que la jurisprudence avait elle-même comblées dans la pratique et en apportant, d'autre part, quelques modifications, notamment quant à la portée du dépôt.

II. **Examen et commentaire des modifications apportées par le texte de la Commission aux articles 1 à 11 de la loi actuelle.** — L'article premier, tout en maintenant le caractère facultatif de la marque, sauf pour celles qui peuvent être déclarées exceptionnellement obligatoires, apporte une innovation assez importante en admettant comme marque non seulement les noms sous une forme distinctive, mais les noms pris en eux-mêmes.

On sait que, jusqu'ici, les noms en France ne pouvaient servir de marque que s'ils revêtaient une forme distinctive dans leur présentation, soit par la forme des caractères, soit par la couleur, soit par l'ornementation, par des dispositions particulières, par leur combinaison dans un ensemble, etc., tandis que d'autres pays, notamment l'Allemagne, admettaient la protection du nom comme marque en soi.

Cette situation présentait un grave inconvénient en raison des dispositions de l'article 6 de la Convention d'Union de Paris de 1883, revisée depuis, et à la Conférence de La Haye en dernier lieu, qui permet à l'étranger unioniste de faire protéger « telle quelle » sa marque d'origine dans tous les pays de l'Union.

C'est ainsi que des Allemands, par exemple, peuvent faire protéger en France leur nom, en raison de ce qu'ils sont protégés comme tels en Allemagne, alors que les Français ne peuvent jouir réciproquement d'une situation analogue.

Le nouvel article premier apporte donc un avantage certain, alors que, d'autre part, il précise, à l'aide d'une énumération très détaillée, dans quelles conditions les noms pris sous une forme distinctive ou les autres signes, comme par exemple la forme caractéristique d'un produit, d'un conditionnement, les étiquettes, vignettes, cachets, devises, pseudonymes, noms imaginaires, etc., peuvent constituer des marques valables.

L'article 2 du projet présente une importance particulière en raison de la modification apportée au régime du dépôt en France.

On sait que, suivant que les législations sur les marques donnent au dépôt, après ou sans examen préalable, un caractère attributif ou simplement déclaratif, la base du droit à la marque et, par suite, du droit à la protection est toute différente.

En France, et dans un certain nombre de pays, le droit à la marque a pour base la priorité d'usage ou la création, le dépôt ne constituant que la déclaration d'un droit, acquis en dehors de l'accomplissement de cette formalité purement administrative, qui ne confère au déposant qu'une présomption de droit, susceptible d'être détruite par toute preuve contraire.

Cela est si vrai que, lorsqu'un dépôt de marque est effectué au préjudice d'un usager antérieur de la même marque et que ce premier usager n'a pas effectué lui-même de dépôt, le droit à la marque étant acquis par la priorité d'usage, le dépôt fait par le tiers peut être radié à la demande du véritable créateur de la marque, observation faite, toutefois, que ce dernier, pour obtenir la radiation du dépôt, doit effectuer lui-même un dépôt, dont l'effet est censé remonter à son premier usage, et agir en se basant sur lui.

En Allemagne, et dans un certain nombre de pays qui ont adopté le système du dépôt attributif, la marque est l'objet d'un examen préalable et l'enregistrement, qui est ou non accepté par l'Administration, confère seul un droit privatif sur la marque.

Les deux systèmes ont leurs partisans et leurs adversaires irréductibles. En ce qui nous concerne, nous estimons que le système français, en dépit de certains désavantages, satisfait mieux au droit et à l'équité, puisqu'il attribue le droit privatif au créateur véritable, tandis que le système allemand conditionne

cette attribution à l'accomplissement d'une formalité administrative, qui peut être effectuée par le plus diligent, à l'insu et au préjudice du véritable créateur de la marque ; il suffit ensuite que la validité de la marque soit acceptée par le Patentamt.

On a reproché au système français, et à juste titre, de favoriser certaines manœuvres de spéculateurs en marques de fabrique, et en tous cas de laisser dans l'incertitude des commerçants de bonne foi, au risque d'être poursuivis et condamnés pour contrefaçon, devant la juridiction civile tout au moins, alors qu'ils ne pouvaient connaître, faute d'un dépôt, le droit de priorité d'un obscur usager de province, dont l'exploitation n'était pas parvenue jusqu'à eux.

C'est pourquoi le Gouvernement et, après lui, la Commission du Commerce de la Chambre ont décidé de substituer au système français actuel un système de dépôt attributif mitigé, attribuant au bout de cinq ans la propriété exclusive de la marque au déposant de bonne foi, au détriment du premier usager négligent.

Le texte du Gouvernement a été malheureusement amendé par la Commission, qui a introduit dans le texte l'obligation d'exploiter, alors que, d'autre part, elle accordait, conformément à une proposition de l'Association française pour la Protection de la Propriété industrielle, au premier usager, qui avait laissé écouler le délai de cinq ans sans introduire de revendication en justice, et se trouvait déchu de tous droits sur la marque, un délai de trois ans, après la mise en demeure du déposant, pour cesser son exploitation.

L'exigence d'une exploitation, en plus du dépôt, pendant cinq années, a été certainement introduite par la Commission du Commerce surtout pour manifester son désir de voir maintenir le principe général, dominant de notre législation, basant le droit à la marque sur la priorité d'usage.

La Commission a dû envisager le cas de maisons de commerce, et notamment de maisons importantes, effectuant systématiquement des dépôts de marques, pour se les approprier à toutes fins utiles, sans besoin réel, sans exploitation pour paralyser tout emploi éventuel par des tiers ; cette préoccupation de respecter le droit de l'usager ressort d'ailleurs du principe posé par l'alinéa 1° de l'article 2, spécifiant que la propriété de la marque s'acquiert par le premier usager ; cela ressort encore du dernier alinéa du même article 2, qui accorde à l'usager dépossédé, après cinq ans, le droit de continuer son exploitation trois ans après la mise en demeure du déposant.

Il est probable que la Commission n'a pas entendu reprendre, même insidieusement, l'ancienne proposition Gheusi qui conditionnait le droit à la marque à une exploitation réelle, ce qui présentait, en dépit de l'apparence, de graves inconvénients dans la pratique et alors que, de jurisprudence certaine, on doit, même en dehors de tout usage, considérer le dépôt, lorsque celui-ci n'est précédé d'aucun usage antérieur, comme acquisitif de droit et comme se suffisant à lui-même pendant toute la période (quinze ans) de sa validité.

Il paraît que l'adjonction de l'exploitation à l'accomplissement du dépôt serait la conséquence d'un grave conflit à la Commission du Commerce et s'expliquerait par la résistance des partisans du système actuel et du maintien du droit absolu de l'usager, et que, si cette modification ne leur avait pas été accordée, la réforme introduite par l'article 2, qui constitue l'un des points capitaux du projet, n'aurait pu être acceptée par la majorité de la Commission.

Il est à craindre que des difficultés ne naissent sur ce terrain délicat et ne paralysent le vote de la réforme, d'autant plus qu'il faudrait également remanier l'alinéa 1° dont la rédaction, comme celle d'ailleurs du projet du Gouvernement, a donné lieu à maintes critiques.

L'Association française pour la Protection de la Propriété industrielle, des travaux de laquelle la Commission du Commerce et son rapporteur se sont heureusement largement inspirés pour améliorer le projet du Gouvernement, avait longuement étudié la rédaction de l'article 2 et était parvenue à mettre sur pied une définition, qui semblait parfaite, et qui était ainsi conçue :

« La propriété de la marque s'acquiert soit par le premier usage avant tout dépôt, soit par le dépôt avant tout usage par un tiers. »

L'Association avait également proposé, en raison de ce que la propriété d'une marque n'est pas une propriété proprement dite, que d'autre part le dépôt ne confère de droit assimilable à celui conféré par la priorité d'usage que s'il n'a pas été précédé d'un usage, de substituer à l'expression qui figurait au deuxième alinéa du projet du Gouvernement : « Nul ne peut revendiquer la propriété exclusive d'une marque en exerçant les actions », le texte suivant qui lui est préférable : « Nul ne peut exercer les actions prévues par la présente loi s'il n'a effectué le dépôt... ».

La Commission a, malheureusement, maintenu le texte originaire du projet du Gouvernement qui est moins conforme au principe même de la loi et à l'exactitude juridique ; toutefois, il n'y a là qu'un détail de rédaction, qui n'est pas susceptible de soulever des difficultés appréciables.

On nous excusera d'avoir insisté sur l'article 2 qui consacre l'innovation la plus importante de la réforme et, bien que celle-ci soit admise, semble-t-il, d'une façon générale, ses conditions d'application demeurent, on le voit, discutables et de nature à gêner son avènement.

L'article 3 n'a d'intérêt que dans l'élévation de quinze à vingt ans de la durée du dépôt pour mettre notre législation en concordance avec les arrangements internationaux, et dans la spécification que le renouvellement du dépôt devra être effectué avant l'expiration de la durée du dépôt précédent, ou au plus tard dans les trois mois après l'échéance, et dans ce cas avec paiement d'une taxe supplémentaire de 10 fr par mois de retard.

Ces modifications n'appellent aucune observation particulière.

L'article 4, en énumérant les conditions dans lesquelles doit s'effectuer le dépôt, y apporte une clause fort importante, en exigeant que le déposant justifie de son immatriculation au registre du commerce ou de son identité et domicile.

Cette disposition est à approuver; elle aura pour effet de limiter les dépôts de marques aux commerçants établis, ou tout au moins à des personnes ayant intérêt réel à déposer une marque. Elle exclura les dépôts fantaisistes ou par personnes interposées qui pouvaient, en l'état actuel, quoique rarement, se produire.

L'article 5 consacre l'exclusion de certains signes, qui ne peuvent être déposés comme marques, et incorpore dans cette exclusion les nouvelles dispositions de la Convention internationale d'Union, revisée à La Haye, à laquelle la France vient d'adhérer.

Les articles 6 et 7 ne présentent que des dispositions concernant les conditions d'enregistrement du dépôt, et n'appellent aucune observation.

L'article 8 incorpore dans le texte de la loi les dispositions de la loi du 26 juin 1920 prescrivant que les transmissions de propriété, cessions ou concessions de droit d'exploitation ou de gage pour être valables à l'égard des tiers doivent être inscrites sur le registre spécial des marques tenu à l'Office; c'est une simplification et non une innovation.

L'article 9 innove, par contre, en spécifiant qu'il peut être procédé à la saisie d'une marque appartenant à un débiteur dans les conditions prévues par le Code de Procédure civile et sous réserves des dispositions de l'article 20 de la loi du 17 mars 1909; il règle la procédure à suivre pour rendre opposable cette mesure aux tiers.

Les articles 10 et 11 relatifs aux droits des étrangers constituent le titre II du projet de loi; ils reproduisent les textes de la loi de 1857 en les complétant, en fonction des dispositions de la Convention internationale d'Union.

III. **Sur le titre III du texte de la Commission.** — Le titre III qui comprend les articles 12 à 20 règle les conditions de la protection des marques déposées.

L'article 12, § 1, maintient le caractère contraventionnel du délit de contrefaçon en supprimant le mot « sciemment », introduit par le projet gouvernemental.

Dans la pratique, la question ne présente pas d'intérêt réel en raison de ce que les tribunaux, chargés de juger l'espèce qui leur est soumise, peuvent apprécier d'après les circonstances de la cause s'il y a mauvaise foi ou non, en pouvant décider qu'en raison de la servilité de la contrefaçon, la mauvaise foi existe, indépendamment de toute autre circonstance l'établissant.

L'alinéa 4 du même article introduit dans la loi sur les marques la répression de la substitution de produits, qui ne pouvait être réprimée jusqu'ici qu'au titre de la concurrence déloyale (article 1382 du Code civil) et c'est à juste titre que cette répression vise la substitution d'un produit protégé par une marque déposée ou non.

Par contre, dans l'article 13, §§ 1 et 2, réprimant l'imitation frauduleuse de la marque ou l'usage frauduleux ou l'usage quelconque d'une marque de façon à tromper l'acheteur sur la nature, les qualités ou l'origine du produit, la Commission a introduit une disposition analogue à celle concernant la substitution de produits dans le but de réprimer aussi bien l'atteinte portée à une marque déposée que celle portée à une marque non déposée.

Il y a, là, manifestement une confusion.

S'il est légitime de réprimer la substitution de produit, que celle-ci concerne un produit couvert par une marque déposée ou non, et s'il y a intérêt à introduire cette répression dans une loi sur les marques, il est inadmissible de prévoir la répression dans cette même loi d'atteintes à des marques, qui ne sont pas déposées, lorsque ces infractions ne constituent des actes répréhensibles qu'en raison de ce qu'ils portent atteinte à une marque ayant satisfait aux exigences de la loi et en premier lieu à l'accomplissement du dépôt, qui est la condition même de l'action.

Il faudrait donc limiter aux marques déposées la répression des infractions prévues par les paragraphes 1 et 2 de l'article 13 du projet, la loi du 1er août 1905 sur les fraudes permettant au surplus d'obtenir la répression des mêmes infractions, lorsqu'elles concernent un produit désigné par une marque non déposée ou de toute autre manière.

Les articles 14 à 20 n'appellent aucune observation particulière et ne font que reproduire les dispositions précédentes de la loi de 1857 en les complétant au besoin, notamment le nouvel article 18, par certaines dispositions de la loi sur les fraudes.

IV. **Sur le titre IV du texte de la Commission.** — Le titre IV (articles 21 à 23) concerne les juridictions chargées d'appliquer les sanctions aux délinquants.

L'article 22 apporte une innovation importante en permettant au Service de la Répression des Fraudes d'intervenir pour constater les infractions prévues par les articles 12 et 13 du projet : son dernier alinéa spécifie que les délits sont poursuivis à la requête du Ministère public ou de toute partie intéressée, qui aura la faculté de faire la preuve du fait délictueux par tous moyens de droit commun.

L'intervention dans la matière des marques du Service de Répression des Fraudes constitue certainement une innovation heureuse, en raison des moyens d'action de ce service pour établir de nombreuses infractions souvent difficiles à démontrer.

V. **Sur le titre V du texte de la Commission.** — Le titre V du projet est particulièrement important; il consacre enfin et réglemente les marques collectives qui existent en France depuis de longues années et que la loi du 12 mars 1920 avait légalement consacrées, sans toutefois les définir et surtout sans élaborer leur statut.

Notre législation sera ainsi en concordance avec les engagements pris dans les conférences internationales de revision de la Convention générale d'Union, conformément aux dispositions de l'article 7 bis de cette Convention.

Les articles 24 à 32 organisent, en conformité des propositions antérieures du Gouvernement et des travaux de l'Association française pour la Protection de la Propriété industrielle, le statut organique des marques collectives.

Il faudrait analyser en détail ces dispositions entièrement nouvelles.

On nous permettra de nous contenter ici, dans cette analyse rapide de l'ensemble du projet, de constater que, dorénavant, les personnes morales quelles qu'elles soient, ainsi que les syndicats, associations, groupements ou collectivités quelconques, pourvus d'une administration légalement reconnue et de la capacité juridique, pourront dans un but d'intérêt général, industriel, commercial ou agricole, posséder des marques de fabrique et de commerce, qui pourront être apposées sur certains produits ou sous sa surveillance et à des conditions déterminées sur les produits de la fabrication ou de l'industrie de leurs membres.

Le dépôt des marques collectives est soumis à des conditions spéciales pour éviter les abus qui pourraient en être faits et pour en garantir la valeur ; notamment l'article 27 spécifie que ces marques ne peuvent faire l'objet ni de cessions totales ni de concessions de gage, ni d'aucune mesure d'exécution forcée.

L'article 28 prévoit l'annulation du dépôt d'une marque collective à la requête du Ministère public ou de toute personne ou collectivité intéressées lorsque la personne morale ou la collectivité a cessé d'exister, lorsqu'elle a négligé de se conformer aux prescriptions spéciales imposées par la loi ou lorsque la collectivité titulaire a employé ou laissé employer sciemment sa marque, contrairement au règlement d'emploi ; le mot « sciemment » a été ajouté par le projet de la Commission pour éviter des poursuites abusives contre des collectivités, dont la marque aurait pu être employée irrégulièrement en dehors de toute connaissance par elles de cet emploi.

Il est prévu qu'en cas d'annulation du dépôt la marque collective ne pourra plus être appropriée pour les mêmes produits, ni employée à un titre quelconque sauf après un délai de dix ans, de manière que la notoriété bonne ou mauvaise, qu'avait pu acquérir la marque, soit désormais oubliée.

Un article 29 réserve à la collectivité déposante, à l'exclusion des usagers autorisés de la marque, le droit d'exercer les droits afférents à la marque.

La Commission a supprimé, ce qui est regrettable, une disposition permettant à tout membre de la collectivité d'intervenir dans l'action intentée par celle-ci, sans donner à son geste une raison plausible.

Il y a là, évidemment, une méprise, la suppression de la disposition ne se justifiant aucunement, alors qu'il peut être au contraire dans l'intérêt d'un ou plusieurs membres de la collectivité d'intervenir dans l'action intentée par celle-ci.

Cette disposition sera donc à rétablir et cela, d'autant plus que le dernier alinéa du même article 29 spécifie que la collectivité peut, dans toute instance, faire état de l'intérêt particulier de ceux qu'elle représente et comprendre dans sa demande d'indemnité, pour cause d'emploi injustifié de la marque collective, le dommage subi par un ou plusieurs de ses membres.

Les articles 30 à 32 qui complètent le titre V consacrés aux marques collectives, n'appellent aucune observation spéciale.

VI. **Sur le titre VI du texte de la Commission.** — Le titre VI et dernier a trait aux dispositions générales et transitoires, qui sont de règle lorsqu'une législation en vigueur est modifiée.

Ces dispositions sont contenues dans les articles 33 à 39.

L'article 33 se substitue à l'ancien article 19, qu'il complète, en disposant que sans préjudice de l'application de l'ancien article 15 de la loi du 11 janvier 1892 sur les douanes, tous produits étrangers portant, soit la marque, soit le nom d'un fabricant résidant en France, soit l'indication du nom ou du lieu d'un fabricant français, sont prohibés à l'entrée et exclus du transit et de l'entrepôt, avec saisie possible, en quelque lieu que ce soit, soit à la diligence de l'Administration des Douanes, soit par les soins du Service de la Répression des Fraudes, soit à la requête du Ministère public, ou de la partie lésée.

Dans le cas où la saisie est faite à la diligence, soit de l'Administration des Douanes, soit du Service de la Répression des Fraudes, le procès-verbal de saisie est immédiatement adressé au Ministère public.

Les autres dispositions du nouvel article 33 ne modifient pas celles correspondantes de l'ancien article 19.

L'article 34 prévoit que des décrets seront rendus, après avis du Comité technique de la Propriété industrielle, pour fixer la classification officielle des marques et déterminer les formalités à remplir pour le dépôt, la publicité, le transfert des marques, etc., ainsi que toutes autres mesures nécessaires pour l'exécution de la loi et notamment pour la répression des fraudes visées par elle.

Les articles 35 à 39 disposent que la loi n'entrera en vigueur que six mois après sa promulgation, sauf en ce qui concerne les nouvelles taxes ; qu'un délai d'une année, à partir de la promulgation, sera accordé aux intéressés pour supprimer les marques prohibées par le nouvel article 5 ; elle abroge toutes dispositions antérieures contraires au nouveau texte et est déclarée applicable ipso facto à l'Algérie tandis que des décrets, rendus après avis du Comité technique de la Propriété industrielle, devront déterminer les conditions d'application aux colonies.

VII. **Conclusion.** — Telle devrait être en substance la loi nouvelle sur les marques, dont le projet de la

Commission, qui vient d'être rapidement analysé, ne fait apparaître que de rares imperfections.

Ces critiques, formulées avec discrétion, seront vraisemblablement accueillies plus facilement que celles que motive encore le projet de réforme de la loi sur les brevets d'invention et il est possible que la loi nouvelle sur les marques précède la loi correspondante, envisagée depuis plus longtemps, sur les brevets d'invention.

La réglementation des marques, quoique plus délicate, est évidemment plus simple à élaborer que le statut des brevets d'invention qui soulève de graves questions de principes et d'intérêts.

Il reste à souhaiter que les deux réformes, dont l'utilité est incontestable, puissent être obtenues avant la fin de la législature actuelle.

FERNAND-JACQ,
Docteur en droit, avocat à la Cour de Paris, secrétaire général de l'Association française pour la Protection de la Propriété industrielle.

Législation, jurisprudence, réglementation

Réglementation concernant les taxes internationales d'enregistrement des marques de fabrique ou de commerce.

Dans notre numéro du 11 octobre 1930, nous avons publié, page 592, le texte de la loi du 1er août 1930 portant approbation des conventions concernant la propriété industrielle signées à La Haye le 6 novembre 1925. Cette adhésion de la France a été notifiée aux états de l'Union par circulaire du Gouvernement de la Confédération suisse en date du 20 septembre 1930, circulaire d'après laquelle l'adhésion de la France devait produire ses effets un mois après, c'est-à-dire à partir du 20 octobre. En conséquence, les dépôts reçus par le Bureau international de Berne depuis le 20 octobre sont soumis aux nouvelles formalités et taxes.

Le « Bulletin officiel de la Propriété industrielle et commerciale » du 2 octobre 1930 publie les renseignements suivants sur ces nouvelles taxes de formalités.

1. TAXES D'ENREGISTREMENT. — « Il est utile de rappeler à ce propos les dispositions de l'article 8 du nouveau texte de l'Arrangement, relatives à l'émolument international, l'émolument national fixé par le décret du 25 octobre 1925 demeurant sans changement. »

ARTICLE 8. — L'Administration du pays d'origine fixera à son gré et percevra à son profit une taxe nationale qu'elle réclamera au propriétaire de la marque dont l'enregistrement international est demandé.

A cette taxe s'ajoutera un émolument international (en francs suisses) de 150 fr pour la première marque et de 100 fr pour chacune des marques suivantes, déposées en même temps au Bureau international au nom du même propriétaire.

Le déposant aura la faculté de n'acquitter au moment du dépôt international qu'un émolument de 100 fr pour la première marque et de 75 fr pour chacune des marques déposées en même temps que la première.

Si le déposant fait usage de cette faculté il devra avant l'expiration d'un délai de dix ans compté à partir de l'enregistrement international verser au Bureau international un complément d'émolument de 75 fr pour la première marque et de 50 fr pour chacune des marques déposées en même temps que la première, faute de quoi, à l'expiration de ce délai, il perdra le bénéfice de son enregistrement. Six mois avant cette expiration, le Bureau international rappellera au déposant par l'envoi d'un avis officieux, à toutes fins utiles la date exacte de cette expiration. Si le complément d'émolument n'est pas versé avant l'expiration de ce délai au Bureau international, celui-ci radiera la marque, notifiera cette opération aux Administrations et la publiera dans son journal.

Lorsque la liste des produits pour lesquels la protection est revendiquée contiendra plus de cent mots, l'enregistrement de la marque ne sera effectué qu'après payement d'une surtaxe fixée par le Règlement d'exécution. (Un franc par ligne supplémentaire imprimée dans les « Marques internationales »).

« En conséquence de ces dispositions, les intéressés qui adresseront une demande d'enregistrement international de marque de fabrique ou de commerce au Ministère du Commerce, direction de la Propriété industrielle (26 bis, rue de Pétrograd, Paris, VIIIe) devront préciser dans leur demande s'ils entendent d'ores et déjà réclamer le bénéfice de la protection internationale pendant 20 ans ou pendant 10 ans seulement et justifier de l'envoi préalable des taxes prévues par l'article 8 précité de l'Arrangement international au Bureau international de la Propriété Industrielle (en francs suisses). »

2. TAXES DES ANNULATIONS ET MUTATIONS. — « D'autre part, aux termes de l'article 9 de l'Arrangement, les annulations, radiations, renonciations, transmissions et autres changements apportés à l'inscription de la marque, notifiés au Bureau international par l'Administration du pays d'origine, seront désormais soumis au paiement au Bureau international de taxes qui ont été ainsi fixées par l'article 8 du Règlement d'exécution. »

Taxes pour les transmissions, modifications de noms, changements de domicile, rectifications nécessitées par une faute du déposant, limitations de produits par suite de renonciations, ou renonciations à la protection pour un pays ou un groupe de pays : 30 fr pour une seule marque et 10 fr pour chacune des marques en plus de la première appartenant au même propriétaire et faisant l'objet de la même opération et de la même modification. Dans ces taxes sont compris les frais de notification aux Administrations, et, s'il y a lieu, de publication de ces opérations. Sont exemptes de taxes les limitations et renonciations notifiées simultanément avec la demande d'enregistrement, les radiations générales, les opérations qui sont la suite d'un avis de refus provisoire ou d'un arrêt judiciaire et celles qui seraient englobées dans une demande de renouvellement.

« Il devra être justifié à l'Administration française de l'envoi de ces taxes au Bureau international avant toute notification des modifications dont il s'agit. »

Arrêté rapportant l'arrêté du 7 mai 1915 relatif à l'envoi au Bureau international de la Propriété industrielle des enveloppes doubles spéciales pour la constatation de la priorité de création des dessins et modèles.

Comme conséquence du décret précédent rendant exécutoire en France l'arrangement international de La Haye, le

sous-secrétaire d'Etat du Commerce et de l'Industrie a pris l'arrêté suivant, en date du 20 octobre 1930, et publié au « Journal officiel » du 24 octobre, page 11 995.

Le sous secrétaire d'Etat du Commerce et de l'Industrie,
Vu l'arrêté ministériel du 13 mars 1914 fixant les conditions d'application du décret du 10 mars 1914, rendu en exécution de l'article 4 de la loi du 14 juillet 1909 sur les dessins et modèles;
Vu l'arrêté ministériel du 7 mai 1915 autorisant l'envoi au Bureau international de la Propriété industrielle, des enveloppes spéciales prévues par le décret et l'arrêté susvisés pour la constatation de la priorité de création des dessins et modèles;
Vu le décret du 5 octobre 1930, qui a promulgué et rendu exécutoire en France l'Arrangement international signé à La Haye le 6 novembre 1925 et concernant le dépôt international des dessins et modèles industriels;
Vu la notification par le Bureau international de la Propriété industrielle de la suppression du service d'enregistrement et de gardiennage des enveloppes doubles perforées, à dater de la mise en application de l'arrangement international susvisé, soit du 20 octobre 1930;
Sur le rapport du directeur de la Propriété industrielle,

Arrête :

ARTICLE PREMIER. — Est et demeure rapporté l'arrêté ministériel du 7 mai 1915 autorisant l'envoi au Bureau international de la Propriété industrielle des enveloppes doubles spéciales prévues par le décret du 10 mars 1914 et l'arrêté ministériel du 13 mars 1914 pour la constatation de la priorité de création des dessins et modèles.

ART. 2. — Le directeur de la Propriété industrielle est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera inséré au « Journal officiel » et au « Bulletin officiel de la Propriété industrielle et commerciale. »

Fait à Paris, le 20 octobre 1930.

Sur la patente spéciale des fournisseurs aux administrations publiques.

Le « Journal officiel » du 16 septembre 1930 publie, pages 3 194 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

8969. — M. Paul Dumaine demande à M. le ministre du Budget : 1° si la patente spéciale de fournisseur aux administrations publiques est due pour les fournitures faites en achats directs, c'est-à-dire en l'absence d'adjudication ou marché préalable ; 2° si cette patente est due, pourquoi n'est-elle pas payée dans un grand nombre de départements et pourquoi les officiers d'administration achètent en prévenant les fournisseurs qu'ils ne sont pas imposables; 3° si pour une imposition qui a été payée régulièrement, puis a été détaxée par la suite, l'Administration est tenue de calculer des intérêts, sinon, pourquoi elle a précédemment exigé des intérêts à 8 pour 100 sur une imposition non réglée et en instance devant le Conseil d'Etat. (Question du 3 juin 1930.)

Réponse. — 1° Réponse affirmative. Pour l'application des droits de patente auxquels est soumise la profession de fournisseur, il doit être fait état, aux termes mêmes du premier alinéa de l'article 22 de la loi du 1er juillet 1916, de toutes ventes d'objets ou marchandises quelconques, consenties aux administrations publiques ou aux établissements publics, même si ces ventes sont effectuées sans adjudication ni marché préalable ; 2° tous les agents du service des contributions directes ont en mains les instructions que nécessite l'exacte application de ces dispositions légales. L'Administration ne manquerait pas, d'ailleurs, de les rappeler à ceux qui lui seraient signalés comme les ayant perdues de vue. De son côté, le département de la guerre a invité, par une circulaire du 4 juillet 1928, les officiers d'administration à s'abstenir d'exprimer aux vendeurs la moindre opinion sur des questions fiscales qui échappent à leur appréciation ; 3° aucune disposition législative ne donne aux contribuables qui bénéficient d'un dégrèvement le droit de réclamer des intérêts sur le montant d'impôts payés et remboursés.

Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices dus par les sociétés dont l'exercice est à cheval sur deux années.

Le « Journal officiel » du 16 septembre 1930 publie, page 3196 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

9152. — M. Bouhenry demande à M. le ministre du Budget : 1° si une société dont l'exercice, à cheval sur deux années, commence le 1er juillet pour se terminer au 30 juin de l'année suivante doit déduire de son bénéfice le revenu net basé de la contribution foncière de ses immeubles tel qu'il se comporte au 1er juillet, début de l'exercice, ou au 1er janvier de l'année suivante; 2° si, en particulier, cette société devait déduire de ses bénéfices de l'exercice 1925-1926, imposables en 1927, le revenu net au 1er juillet 1925 ou bien celui qui résultait de la revision exceptionnelle et qui a été appliqué à partir du 1er janvier 1926. (Question du 5 juin 1930.)

Réponse. — 1° Pour l'application de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux dû au titre d'une année déterminée, la valeur locative cadastrale (ou le revenu cadastral) à déduire du bénéfice net en conformité des articles 4 et 5 des lois codifiées (décret du 15 octobre 1926) est celle (ou celui) que les immeubles affectés à l'exploitation comportaient au cours de l'année ou de l'exercice comptable dont les résultats sont retenus pour l'établissement de l'impôt;

2° Il résulte de ce qui précède que, pour la détermination de la base de l'impôt dû au titre de l'année 1927 par la société envisagée, il y avait lieu de déduire du bénéfice net de l'exercice 1er juillet 1925-30 juin 1926, le revenu cadastral des immeubles professionnels pendant ledit exercice, soit 6/12 du revenu de l'année 1925 et 6/12 du revenu de l'année 1926.

Sur la non-possibilité de retrancher du revenu général la taxe sur les automobiles.

Le « Journal officiel » du 16 septembre 1930 publie, page 3 194 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

8942. — M. Georges Bureau demande à M. le ministre du Budget : 1° si les déclarants peuvent retrancher du revenu imposable à l'impôt général sur le revenu la taxe sur les automobiles, qui est bien perçue à titre nominatif et non indirectement et anonymement ; 2° si cette taxe ne doit pas être inscrite sur les matrices des taxes directes perçues par les percepteurs. (Question du 3 juin 1930.)

Réponse. — La taxe sur les voitures automobiles ayant été transformée en taxe indirecte par l'article 99 de la loi du 25 juin 1290, il ne peut être question de la porter sur les rôles recouvrés par les percepteurs. Comme, d'autre part, les impôts directs sont les seuls qui puissent être retranchés du revenu global des redevables pour l'établissement de l'impôt général, il s'ensuit que la taxe envisagée ne peut figurer en déduction dans les déclarations.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 22. — 29 NOVEMBRE 1930.

Chronique. — La deuxième Conférence mondiale de l'Energie (Berlin, 1930), p. 841.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (septembre 1930) (*suite*), p. 843.

Section scientifique et technique. — Les métadynes entre elles et leurs dérivées (*suite*), par J.-M. PESTARINI, p. 851. — Revues, analyses et informations : La théorie dynamique des machines à courant alternatif et le problème de la stabilité des systèmes de transmission d'énergie électrique, p. 863 ; Le dénombrement photographique des particules α, p. 864.

Section industrielle. — Le développement des réseaux de distribution d'énergie électrique et les dangers de la foudre, par A. BOUTARIC, p. 865. — Revues, analyses et informations : Dispositif automatique, système R. Planche, pour le démarrage des moteurs électriques, p. 873.

Section économique et financière. — Projet de normalisation des formats du papier, par J. B., p. 875. — Assemblée générales : Compagnie hydroélectrique de la Cure, p. 880.

AVIS : Renouvellement des abonnements. — *Nous prions instamment ceux de nos lecteurs dont l'abonnement expire fin décembre de bien vouloir nous adresser le montant de leur renouvellement pour 1931 (100 fr pour la France, 250 fr pour la Belgique et le Luxembourg, 10 ou 12 dollars, suivant conditions postales, pour tous les autres pays) avant le 15 décembre prochain, date à partir de laquelle nous en ferons faire le recouvrement par la poste pour Paris et les départements (frais de recouvrement en plus, 4,50 fr).*

Les abonnés de France et des Colonies pourront utiliser à cet effet la formule de chèque postal qui est insérée dans ce présent numéro; les frais ne sont alors que de 0,50 fr.

La deuxième Conférence mondiale de l'Energie (Berlin, 1930). — La deuxième Conférence mondiale de l'Energie a eu lieu à Berlin du 16 au 25 juin 1930. Rappelons à ce propos que la première Conférence mondiale de l'Energie s'est réunie à Londres en 1924, qu'il y eut trois sessions spéciales depuis sa création, l'une à Bâle en 1925 consacrée aux questions touchant à l'énergie hydraulique, une autre à Londres, pour les combustibles et une troisième à Barcelone en 1929, comme à Bâle pour l'énergie hydraulique. A l'occasion de la session spéciale de Bâle, nous avons indiqué dans ces colonnes (1) quels étaient l'origine et le but de ces réunions. Tandis que la première réunion à Londres réunissait près de deux mille participants, le nombre s'en éleva à 3906 à celle de Berlin; cinquante nations y étaient représentées. Voici la liste des membres de la délégation française : MM. Galliot, directeur des Mines au Ministère des Travaux publics; Leprince-Ringuet, inspecteur général des Mines; Niewenglowski, inspecteur général des Mines; Jarlier, ingénieur en chef des Mines; Coste, ingénieur des Mines; Vigier, ingénieur des Mines; Colson, directeur de la Voirie routière, des Forces hydrauliques et des Distributions d'Energie électrique au Ministère des Travaux publics; Genissieu, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées; Coyne, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées; Crescent, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

(1) Conférence mondiale de l'Energie. *Revue générale de l'Electricité*, 9 octobre 1926, t. XX, p. 499-501.

Le nombre total des rapports présentés dépasse 400 s; ils sont répartis entre les trente-quatre sections, numérotées de 1 à 34, et réunis en dix-neuf volumes, qui ne doivent pas tarder à paraître. D'autre part, il a été établi pour chaque section un rapport général, et ces trente-quatre rapports seront groupés en un seul volume qui permettra de se rendre compte de la nature de l'ensemble des travaux effectués en cette deuxième Conférence mondiale de l'Energie. Nous donnons d'ailleurs ci-dessous la liste des questions examinées dans chcune de ces trente-quatre sections et nous indiquons le nombre des rapports annoncés pour chacune d'elles:

1.	L'électricité dans l'économie ménagère et dans l'agriculture	14
2.	L'électricité dans l'industrie et dans les métiers	14
3.	Diagrammes de charge en relief et tarification de l'énergie	7
4.	Etude économique du dégazage à haute température	10
5.	Vente du gaz	16

6. Le coût et la consommation comparés de l'énergie sous différentes formes, chez le consommateur...	7
7. Construction et exploitation de grandes installations de production d'énergie.....	8
8. Combinaison de la production et de la distribution de l'énergie sous différentes formes, notamment de la chaleur et de l'énergie électrique.....	17
9. L'économie thermique, l'économie des combustibles et l'économie de l'énergie dans différents pays...	15
10. Turbines à vapeur et à gaz et machines à piston...	14
11. Chaudières et foyers.....	16
12. Combustibles solides : leur production et leur transformation.....	16
13. La méthode et les questions économiques et techniques dans l'utilisation de la houille blanche....	18
14. Murs de refoulement (grands barrages).....	3
15. Questions économiques concernant l'accumulation en grand de l'énergie.....	9
16. Economie de l'énergie hydraulique dans différents pays.....	15
17. Collaboration de différentes installations pour la production d'énergie.....	4
18. Construction de générateurs de grande puissance, de transformateurs et autres machines électriques.....	17
19. Installations de distributions à commande automatique des usines génératrices, transmission à distance des indications des instruments de mesure et des signaux.....	13
20. Transmission de l'énergie sur les réseaux à interconnexion simple ou multiple.....	17
21. Prises de terre, parafoudres et influence mutuelle des lignes à courant fort et de celles à courant faible.....	7
22. Quelques problèmes d'ordre économique relatifs à l'énergie électrique dans divers pays.....	11
23. Problèmes mondiaux d'ordre économique relatifs à l'énergie.....	10
24. Questions juridiques relatives à l'utilisation des ressources d'énergie hydraulique.....	8
25. Lois et questions d'ordre économique relatives à l'énergie électrique.....	7
26. Traction à vapeur et traction électrique.....	21
27. L'énergie, au point de vue économique, sur les bateaux.....	9
28. La production d'huiles naturelles et artificielles et l'organisation de la vente.....	11
29. Moteurs à combustion fixes et recherches relatives aux moteurs à combustion.....	12
30. Moteurs d'automobiles et d'avions.....	11
31. La force motrice dans les ateliers, machines et véhicules.....	7
32. Travaux de recherches.....	16
33. Problèmes de la normalisation et méthodes de la statistique.....	13
34. Enseignement.....	7

Il suffit de comparer cette liste à celle des treize sections qui constituaient la première Conférence mondiale de l'Energie, à Londres en 1924 (1), pour se rendre compte de l'extension qu'ont prise les travaux de cet organisme. Parmi les questions nouvelles, non encore envisagées jusqu'ici, nous mentionnerons tout spécialement celle qui fait l'objet de la Section 8, à savoir la « combinaison de la production et de la distribution de l'énergie sous différentes formes, notamment de la chaleur et de l'énergie électrique »; d'intéressantes considérations y sont développées dans les rapports présentés sur le parti que l'on peut tirer, au point de vue d'une meilleure utilisation de l'installation, de l'alimentation simultanée d'une distribution de chauffage et d'une distribution d'énergie électrique. A côté de renseignements précis que donnent certains rapports sur des installations de chauffage, d'autres étudient les conditions techniques et économiques de la combinaison de la production d'énergie électrique et de chaleur. Dans la section 15 furent également présentés un certain nombre de rapports traitant d'une question dont l'importance s'affirme de plus en plus, celle de l'accumulation d'énergie par pompage dans les usines génératrices. Mais nous ne pouvons entreprendre ici une analyse de ces études.

D'une façon générale, la diversité des questions traitées et le grand nombre de rapports présentés ne nous permettent pas de donner un compte rendu détaillé de chacun d'eux. Comme pour les sessions antérieures de la Conférence mondiale de l'Energie, nous devons nous borner à publier des résumés de ceux de ces rapports qui traitent de questions concernant plus spécialement l'industrie électrique (construction, production, distribution, applications et exploitation).

Nous commençons dans ce numéro la publication de ces rapports dans le fascicule « Documentation », qui est entièrement consacré à cette deuxième Conférence mondiale de l'Energie; il en sera de même des fascicules de quelques numéros suivants. En ce qui concerne le classement de ces résumés, nous avons cru devoir conserver celui que nous adoptons en général et auquel nos lecteurs sont habitués, plutôt que de nous conformer à celui par sections, suivant la liste qui précède. Le numéro de la section à laquelle a été présenté tel rapport considéré est d'ailleurs indiqué dans le résumé.

A côté de ces rapports, il importe de mentionner des communications d'ordre général, au nombre de sept, sur des questions scientifiques et techniques. Le professeur Einstein traita des problèmes de l'espace; le professeur A.-S. Eddington, directeur de l'Observatoire de l'Université de Cambridge, de l'énergie atomique; M. Axel-F. Enström, du machinisme considérée comme élément de la civilisation; M. D. Serruys, des nouveaux aspects de la « rationalisation »; M.S. Vallauri, de l'électricité et du magnétisme; M. H. Foster Bain, du rôle des métaux et enfin, M. Oskar Oliven, des lignes européennes de transmission d'énergie ou plus exactement du réseau européen. — A. C.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, loc. cit., p. 500.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique (Septembre 1930) (*Suite*) (*)

II. La permanence du service

Dans les conclusions de son rapport général sur cette question, présenté au Congrès de Paris de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, en 1928 (1), M. Em. Uytborck avait proposé qu'une étude spéciale fût faite sur un certain nombre de points touchant à ce sujet de la permanence du service de distribution, à savoir : nature et fréquence des accidents occasionnant des interruptions de service; surveillance et entretien du matériel; étendue des dispositions prises pour pouvoir, en tout temps, substituer à l'un des éléments du matériel momentanément avarié un élément en bon état de fonctionnement; dispositions prises pour effectuer, le plus rapidement possible, les réparations au matériel; meilleur mode de dénombrer les interruptions de service en vue d'apprécier numériquement les progrès réalisés dans les différents pays en matière de permanence du service.

Cette proposition ayant été accueillie favorablement, un questionnaire a été rédigé et envoyé aux membres de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. Les réponses à ce questionnaire ont été présentées sous forme de rapports, dont nous donnons le compte rendu plus loin et qui sont résumées dans le rapport général.

1. **La permanence du service de distribution.** Rapport général de Em. Uytborck, directeur général de l'Union des Exploitations électriques en Belgique. — Dans ce rapport de onze pages de texte, M. Uytborck résume les conclusions déduites des réponses reçues au questionnaire mentionné ci-dessus.

1. Surveillance et entretien des installations de distribution en vue d'assurer la permanence du service. — 1° *Quels sont les points sur lesquels le personnel est chargé de porter son attention ?* — Voici l'énumération de ces points : a) Lignes aériennes : visite à pied de la ligne une fois par semaine et en tout cas après chaque orage ou interruption; tous les semestres, une visite minutieuse de la ligne mise hors tension; stabilité des poteaux; inspection des cloches sous tension, par temps humide et par nuit noire, avec des jumelles, pour déceler les effluves dans le cas de lignes à haute tension; traces d'amorçages d'arc; dommages mécaniques; repérage des isolateurs défectueux; portées détendues; joints et ligatures; contacts des sectionneurs; parafoudres; descentes et connexions aux plaques de terre; objets accrochés aux lignes, nids d'oiseaux; existence de quelques cloches de réserve dans les cabines; élagage périodique; voisinages dangereux (notamment d'autres fils); examen des remarques faites par les habitants; état des boîtes terminales au passage d'une canalisation souterraine à la ligne aérienne; contrôle régulier des ampèremètres des feeders à l'usine génératrice et des indicateurs de terre; examen des plaques et inscriptions obligatoires; fondations; affouillements; état des peintures, des supports en bois; voisinage des nouvelles constructions et toutes anomalies quelconques;

b) Lignes souterraines : Contrôle itinérant au moins une fois par mois ou après inondations et grandes pluies; affaissement du sol; terrain défoncé par le charroi; pose d'autres câbles; travaux de terrassement ou de voirie quelconques; existence et visibilité des pavés de repérage; bon état des boîtes terminales, surtout pendant les fortes chaleurs; bon état des traversées des canaux; bon état des tuyaux servant au passage des câbles armés sur les ouvrages d'art et des attaches de ceux-ci; informations relatives aux travaux à faire à proximité du tracé; mesures électriques des courants vagabonds au voisinage des lignes de tramways à courant continu;

c) Sous-stations ordinaires : Inspection mensuelle et après chaque orage; inspection des appareils Cardew, (limiteurs de tension pour la basse tension); inspection après déclenchement ou fusion des fusibles principaux; vérification aux heures de fort débit de la charge du transformateur; température de l'huile; niveau de l'huile dans les transformateurs; épuration, contrôle ou remplacement de l'huile; nettoyage de la cabine deux fois par an; existence d'appareillage de réserve; examen des appareils de protection des transformateurs contre les surtensions; échauffement des bornes; marche régulière des interrupteurs horaires; isolement des réseaux secondaires par rapport à la terre; vérification et remplacement en temps opportun de fils fusibles à haute tension; réglage judicieux et état des

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 15 novembre 1930, t. XXVIII, p. 803-812.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 18 août 1928, t. XXIV, p. 235-237.

bobines de déclenchement des disjoncteurs automatiques; examen de ces disjoncteurs et de leur huile; éclairage de secours; présence du matériel de sécurité; propreté des isolateurs; étanchéité de la cabine aux eaux de pluie; serrure et porte; ventilation et dispositifs empêchant l'introduction d'animaux quelconques; mise à la terre.

2° *Quel est le coût annuel, en centièmes de la dépense de premier établissement, de la surveillance exercée sur les lignes ?* — Bien qu'il ne soit pas facile de déterminer les dépenses de surveillance qui sont généralement englobées avec celles d'entretien et qui varient dans des limites étendues avec la tension de service et d'autres facteurs, le rapporteur a néanmoins pu fixer des ordres de grandeur. Tandis que pour les lignes aériennes à haute tension cette dépense varie de 2 à 0,25 pour 100 et, exceptionnellement, de 5 à 0,033 pour 100, ces limites se ramènent à 1,5 et 0,247 pour 100 pour celles à basse tension. Pour les lignes souterraines à haute tension, la dépense de surveillance varie de 0,345 à 0,02 pour 100 et ne serait que de 0,01 pour 100 dans le cas de la basse tension.

3° *Quel est le coût annuel, en centièmes de la dépense de premier établissement, de l'entretien des lignes ?* — Sous les mêmes réserves que dans le cas précédent, on peut fixer comme limites de ces dépenses : 3 et 0,5 pour 100 pour les lignes aériennes à haute tension et 4 et 0,58 pour 100 pour celles à basse tension, ces limites pouvant atteindre respectivement 6 à 8 pour 100 et 6,8 à 9 pour 100 pour lignes avec supports en bois, 3 et 0,1 pour 100 pour les lignes souterraines à haute tension et 1 à 2 pour 100 pour celles à basse tension,

4° *Quelle est la part des pourcentages précédents afférents aux salaires du personnel d'entretien ?* — Elle varie de 75 à 30 pour 100 pour les lignes aériennes à haute tension et de 90 à 55 pour 100 pour celles à basse tension; de 63 à 50 pour 100 pour les lignes souterraines à haute tension et elles sont de 50 pour 100, d'après le rapport français, pour celles à basse tension.

2. Dispositions prises pour pouvoir, en tout temps, substituer a l'un des éléments du matériel mis hors d'usage un élément en bon état. — L'importance du matériel maintenu en réserve de façon permanente par rapport au matériel en service est fixée par les nombres suivants correspondant à des limites :

5 et 0,1 pour 100 pour les isolateurs à haute tension;

1,5 et 0,05 pour 100 pour les câbles à haute tension;

10 et 0,1 pour 100 pour les supports en bois imprégné;

0 pour 100 pour les supports métalliques en treillis;

10 et 3 pour 100 pour les transformateurs statiques de postes ordinaires.

3. Dispositions prises pour effectuer le plus rapidement possible des réparations aux installations. — Des trois points mentionnés sous ce titre dans le questionnaire soumis aux membres de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, un seul a fait l'objet de réponses ayant permis au rapporteur général de tirer quelques conclusions, c'est celui relatif à la population desservie par quelques grands réseaux urbains et ruraux, à l'étendue du réseau et au nombre et à la nature des engins de transport mis à la disposition du personnel pour effectuer les opérations urgentes. Dans le tableau I sont résumés les renseignements les plus concrets qui figurent dans les réponses.

Tableau I. — *Etendue du réseau et nombre et nature des engins de transport.*

PAYS	POPULATION DESSERVIE nombre d'habitants	SURFACE DU RÉSEAU km²	NOMBRE ET NATURE DES ENGINS DE TRANSPORT
Belgique..	29 000	180	1 automobile et 4 motocyclettes.
Belgique..	186 000	173	4 automobiles et 1 autocamion.
Belgique..	250 000	900	5 automobiles, 9 motocyclettes et 2 autocamionnettes.
Hollande..	754 000	223	2 automobiles et 1 camion
Hollande..	530 000	2 200	6 automobiles, 2 camions de réparations, 3 camions de transport.
Italie.....	1 000 000	50	2 automobiles et 1 camion

4. Nombre, importance et causes des interruptions de service. — Ces questions ne peuvent être résolues qu'à l'aide de statistiques des incidents en cours d'exploitation avec l'indication précise des conditions dans lesquelles ils se sont produits. Le questionnaire adressé aux membres de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique soulève ce point : « Dans le cas où votre société dresse des statistiques établissant d'une façon méthodique le nombre, l'importance et les causes des interruptions de service, pouvez-vous donner la description détaillée de la façon dont sont établies ces statistiques? Si votre société ne donne pas de ces statistiques, estimez-vous qu'il y aurait intérêt pour l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique de formuler un vœu quant à l'adoption du plan suivant :

» 1° *Nombre d'interruptions.* — Serait considérée comme une interruption la cessation complète de distribution résultant, dans tout ou partie d'un secteur, d'un accident survenu à une partie des installations dont le bon fonctionnement incombe directement à l'organisme de distribution.

» 2° *Importance des interruptions.* — L'importance intrinsèque d'une interruption serait exprimée en kilowatts-heures; savoir : le produit de la puissance moyenne non fournie, correspondant à l'énergie, rapportée à la haute tension, exprimée en kilowatts, par la durée de l'interruption exprimée en heures. L'importance relative des interruptions d'un réseau pendant

une période déterminée serait donnée par le rapport des sommes des importances intrinsèques des interruptions au nombre total de kilowatts-heures à haute tension vendus pendant cette période. Au lieu d'exprimer ce rapport en fraction décimale, il pourrait commodément, et par un calcul simple, s'exprimer en minutes par mois, par trimestre ou par an.

» 3° *Causes des interruptions.* — Les causes des interruptions seraient classées dans l'une des rubriques consignées dans le tableau II. »

TABLEAU II. — *Classification des causes des interruptions.*

Causes qu'une bonne technique ne peut prévoir	Accidents résultant de phénomènes extérieurs aux installations		atmosphériques	1
			terrestres	2
	Accidents résultant de phénomènes propres aux installations			3
Causes qu'une bonne technique doit prévoir	Accidents résultant de phénomènes extérieurs aux installations		atmosphériques	4
			terrestres	5
		autres réseaux	télécommunications	6
			courants forts	7
	Accidents résultant de phénomènes propres aux installations	usines génératrices	chaudières	8
			groupes électrogènes	9
			appareillage	10
			transformateurs	11
		réseaux à haute tension	isolateurs	12
			relais	13
			câbles	14
		sous-stations	transformateurs	15
			relais	16
			fusibles	17
	Accidents attribuables au personnel		des réseaux à basse tension	18
			des usines génératrices	19
			des réseaux	20

Tandis que, dans certains rapports, tels que celui de l'Unione nazionale fascista Industrie elettrische, celui du Comité électrotechnique tchécoslovaque et celui de M. Dutoit, on trouve des modèles de statistiques, les autres rapports, tout en notant que quelques-unes ou la plupart des sociétés de distribution du pays considéré dans ledit rapport établissent des statistiques, approuvent le plan prévu dans le questionnaire. Le rapporteur général se croit donc autorisé à conclure que la majorité des membres de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique a un réel désir de voir fixer un mode d'établissement d'un index caractérisant la permanence de service. Il se permet de proposer l'adoption par le Congrès des principes suivants qui permettraient d'unifier les méthodes d'établissement de cet index.

Toute interruption de service serait caractérisée par deux facteurs : facteur « puissance » et facteur « temps ». Si l'interruption de service ne frappe qu'un poste de distribution, le facteur puissance serait déterminé par la puissance nominale des transformateurs mis hors service et le facteur temps, par la durée de cette mise hors service. Le produit de ces facteurs donne la caractéristique de l'interruption. Si elle frappe plusieurs postes de distribution, sans que l'ensemble de ces postes de distribution dépende d'un seul poste primaire, l'interruption serait caractérisée par la somme des caractéristiques des interruptions des postes frappés. Si, au contraire, un poste primaire de distribution entraîne l'interruption de service d'une série de postes secondaires, on négligerait entièrement les caractéristiques des postes secondaires et l'on ne tiendrait compte que de celle du poste primaire. De même, si ces deux réseaux ne dépendent que d'une usine génératrice et si cette usine s'est trouvée sans courant pendant un certain temps, l'interruption aurait pour caractéristique la puissance installée en service multipliée par la durée de l'interruption.

La somme annuelle des caractéristiques de toutes les interruptions d'un réseau serait divisée par la puissance maximum débitée par l'usine ou le réseau au cours de l'année envisagée pour exprimer le critère de la permanence du service en un nombre d'heures, de minutes et de secondes.

II. **La permanence du service de distribution.** Rapport de R. POLACK, ingénieur, chef des Services techniques de la grande Banlieue du Nord-Lumière (Le Triphasé). — Dans ce rapport de trois pages de texte sont donnés quelques chiffres sur les frais de surveillance qui sont distingués, d'ailleurs comme dans le questionnaire, des frais d'entretien. Ces chiffres sont compris dans les limites indiquées dans le rapport général. Pour les lignes aériennes à haute tension avec supports en béton, les dépenses annuelles de surveillance se montent à 1 pour 100 de la dépense de premier établissement ; pour celles avec supports en bois, à 2 pour 100. Dans le cas de lignes aériennes à basse tension, le rapporteur indique respectivement 1 et 1,5 pour 100 pour ces mêmes dépenses. En ce qui concerne

les frais d'entretien proprement dits, ils se montent à 1 pour 100 de la dépense de premier établissement pour les lignes aériennes à haute tension avec supports en béton et, comme l'a souligné le rapporteur général, à 6 à 8 pour 100 pour celles avec supports en bois. Nous n'insisterons pas sur la valeur du matériel prévu en réserve pour assurer la permanence du service, les chiffres que donne M. Polack étant encore compris dans les limites consignées dans le rapport général, sauf toutefois en ce qui concerne les supports métalliques en treillis ; M. Polack recommande, en effet, une réserve de ces supports, dont la valeur s'élèverait à 1 ou 2 pour 100 du coût d'installation de la ligne.

En ce qui concerne la question relative au nombre, à l'importance et aux causes des interruptions de service, l'auteur formule deux réserves au sujet du plan proposé par le rapporteur général pour la délimitation de ces éléments. La première est relative à la difficulté de l'évaluation correcte de l'énergie non fournie dans le cas où il existe des lignes de secours ; elle est basée sur le fait qu'en cas d'interruption d'une ligne, le service étant assuré par une ligne de secours, l'interruption de la première ligne peut être longue, sans que l'énergie non fournie soit élevée.

La seconde réserve vise le principe même du critérium proposé : l'importance d'une interruption n'est pas entièrement caractérisée par l'énergie non fournie au cours de l'arrêt, mais aussi par le nombre d'abonnés qui ont été atteints ; par exemple, un réseau syndical de 50 communes à 10 kv-a arrêté 15 minutes, ce qui correspond à une quantité d'énergie non fournie d'environ 125 kw-h, réclamera peut-être plus énergiquement qu'un abonné dont l'installation a une puissance de 500 kv-a et pour laquelle l'arrêt est de 15 minutes.

III. **Permanence du service de distribution.** Rapport de l'Unione nazionale fascista Industrie elettriche. — Les réponses contenues dans ce rapport, de dix pages de texte, avec deux graphiques et deux tableaux, et qui sont relatives à la surveillance et l'entretien, sont résumées dans le rapport général, dont le compte rendu précède ; nous n'y reviendrons donc pas.

En ce qui concerne le nombre, l'importance et les causes des interruptions, l'Unione nazionale fascista Industrie elettriche était particulièrement bien placée pour donner quelque documentation sur la question ; c'est elle, en effet, qui réunit à la fin de chaque année les statistiques établies par les sociétés de distribution, sous forme de tableaux et de diagrammes. Dans un des tableaux, les interruptions sont réparties selon la cause (fausses manœuvres, avaries, autres causes) et la grandeur de la charge interrompue ; la durée de toutes les interruptions est également indiquée. Les durées équivalentes sont les durées ordinaires rapportées aux interruptions totales ; de même pour les nombres d'interruptions : ils sont rapportés au nombre total d'interruptions et ce rapport est le nombre « équivalent » ; ces deux indications donnent une idée très approximative de l'excellence d'un service dans une année et permettent aussi de comparer les services de diverses villes, Il faut toutefois tenir compte aussi du nombre et de la disposition des lignes d'alimentation et de leurs connexions, ainsi que des connexions entre les cabines et du type des lignes (aériennes ou souterraines).

Dans un deuxième tableau, on a soin de spécifier tout ce qui peut donner une idée du développement du service de distribution et de ce que les sociétés de distribution ont fait pour l'amélioration du service ; on indique aussi le produit de la puissance des transformateurs par la durée des interruptions, en minutes.

Les diagrammes accompagnant ces tableaux représentent l'un les variations de la charge interrompue avec le nombre d'interruptions ; le second, celles du nombre des interruptions de service de distribution en fonction du temps.

IV. **Permanence du service de distribution.** Rapport de la Verbeniging van Directeuren van Electriciteitsbedrijven in Nederland. — Au sujet de la surveillance et de l'entretien des installations, nous relevons dans ce rapport, de quatre pages de texte, cette indication sur les épreuves périodiques avec du courant continu que font certaines entreprises sur leur réseau souterrain à haute tension : ces épreuves ont lieu six fois par an sous 100 kv, pour les câbles à 50 kv ; six fois par an sous 20 kv, pour les câbles à 10 kv et pour les principaux câbles à 3 kv, deux fois par an sous 10 kv.

Dans les sous-stations tous les interrupteurs dans l'air à 10 kv sont contrôlés tous les trois mois, tant au point de vue électrique que mécanique, et les signaux d'alarme, au moins trois fois par semaine.

V. **Permanence du service de distribution.** Rapport de l'Elektrotectnicky Svaz Ceskoslovensky. — Les données détaillées de ce rapport, de quatre pages de texte, sur la surveillance et l'entretien des installations, ainsi que sur les frais de surveillance et d'entretien et le montant du matériel de réserve sont résumées dans le rapport général dont le compte rendu précède.

Voici le texte relatif aux dispositions prises pour effectuer le plus rapidement possible les réparations aux installations : « Dans le cas des lignes aériennes à haute tension, séparer déjà pendant la construction les lignes principales d'alimentation des réseaux locaux. Les lignes principales sont exploitées en circuits fermés avec la protection sélective, les réseaux locaux, en circuit radial ouvert permettant de combiner l'alimentation ; en ajoutant encore la compensation du courant de terre, on arrive approximativement à la localisation automatique. Puis, le défaut à localiser automatiquement est cherché par enclenchement expérimental. On fait ensuite la localisation définitive en suivant la ligne, de préférence avec des automobiles pour le transport du personnel. Le défaut de l'isolement peut être trouvé facilement dans la nuit d'après l'arc à la terre, visible de loin.

» Pour les lignes souterraines à haute tension, les mêmes dispositions sont prises que pour les lignes

aériennes. La localisation du défaut sur le câble déclenché automatiquement est exécutée — en supposant que le défaut ne s'est pas manifesté, par exemple, par une explosion — à l'aide du pont de Wheatstone ou du chercheur de tension de Siemens. Puis le câble est divisé en sections sur les jonctions, qui sont examinées séparément. Si le défaut n'est pas assez apparent, on alimente le câble par une génératrice spéciale. Une société de production utilise pour les câbles de 3 kv un transformateur spécial, alimenté du côté de la basse tension, et elle a l'intention de se procurer une station transportable à courant continu à haute tension. »

A noter qu'à ce rapport sont annexés deux tableaux, normalisés par le Comité électrotechnique tchécoslovaque, dans lesquels sont consignés tous les renseignements permettant de déterminer le nombre, l'importance et les causes des interruptions de service.

VI. **Permanence du service de distribution.** Rapport de la Centrale électrique de la Ville de Vienne. — Dans ce rapport de six pages de texte sont réunis des renseignements sur les diverses mesures prises pour assurer la permanence du service de distribution dans le cas spécial du réseau alimentant la ville de Vienne. Ce réseau est relié à deux usines génératrices à vapeur et à des usines hydroélectriques. La transmission d'énergie de ces dernières est assurée par des lignes aériennes à 110 et 70 kv, tandis que les usines génératrices de Vienne et les sous-stations sont reliées entre elles par des câbles souterrains à 28 kv. Le réseau de distribution à haute tension, soit à 5 kv, est constitué par des câbles souterrains, ainsi que celui à basse tension, qui n'est établi en ligne aérienne que dans quelques régions des environs de la ville.

Comme il y a actuellement des travaux de transformation de réseaux à courant continu en réseaux à courant triphasé, et de réseaux à courant monophasé à 110 v en réseaux à courant monophasé 220 v ou en réseaux à courant triphasé, il est très difficile de répondre avec précision à la question de la part des dépenses d'exploitation afférente uniquement à l'entretien. De même, par suite de ces travaux et de l'extension continuelle des réseaux à courant triphasé, on dispose toujours du matériel de réserve qui pourrait être nécessaire pour remplacer tel élément mis hors d'usage. D'ailleurs, en ce qui concerne les transformateurs, par exemple, il est signalé que les avaries à ces appareils sont rares : sur 4 749 transformateurs en service en 1929, sous 5 et 2 kv, 66 transformateurs seulement ont dû être réparés.

Quant aux dispositions prises pour effectuer le plus rapidement possible les réparations aux installations, le plus souvent, tant pour les lignes aériennes que pour les câbles souterrains, le circuit est bouclé et, si l'alimentation fait défaut d'un côté, elle peut être assurée par l'autre extrémité. Les lignes à 110 et 70 kv alimentant la ville de Vienne n'occasionnent pas d'interruption de service, car la charge du réseau, en cas d'avarie à l'une de ces lignes, est reportée sur les usines thermiques de Vienne. Sur le réseau de distribution, les sous-stations de transformation qui alimentent des établissements importants sont connectées à ces derniers par deux câbles indépendants. La durée de la réparation provisoire varie d'une demi-heure à une heure et demie suivant l'importance du défaut, le nombre de branchements et l'éloignement du tronçon défectueux. Pour la réparation définive d'une ligne aérienne, s'il s'agit de bris de chaînes d'isolateurs ou de câbles, la réparation durera de deux à trois heures de plus, en tenant compte du temps perdu pour l'envoi du matériel de remplacement. Pour le remplacement des poteaux, il faut même compter de trois heures à un jour en plus des minima, voire davantage, par suite des travaux de terrassement à effectuer ou en raison des difficultés du transport et de la mise en place. Pour un câble souterrain, il faudra trois à dix heures de plus avant de pouvoir mettre la dernière sous-station en service si, bien entendu, il s'en trouve une entre les deux postes de sectionnement qui commandent le tronçon défectueux, et cela, suivant les difficultés et l'étendue des travaux de terrassement (nature du revêtement de la route, terre gelée en hiver, etc.).

Pour le transport du personnel, le Service d'Electricité dispose, en dehors de voitures automobiles et de motocyclettes, de quatre autobus qui conviennent également pour le transport de matériel; de deux autocamions et de quatre tricycles à moteur pour le transport de charges légères. En outre, le Service des Transports de la Ville de Vienne tient constamment des camions à la disposition du Service d'Electricité.

Le nombre, l'importance et les causes des interruptions sont déterminés par les rapports établis à la suite de tout incident et qui permettent de faire, à la fin de chaque année, un relevé statistique des interruptions.

La population desservie comprend celle de Vienne, 1 866 000 habitants, celle des communes limitrophes, 24 300 habitants, et celle des communes agricoles, 192 300 habitants, la superficie sur laquelle est répartie cette population étant respectivement 276 km², 132 km² et 858 km².

VII. **Permanence du service de distribution.** Rapport de l'Union des Exploitations électriques en Belgique. — De ce rapport, de six pages de texte, en grande partie résumé dans le rapport général dont le compte rendu précède, nous retiendrons les indications relatives aux dispositions prises pour effectuer le plus rapidement possible des réparations aux installations. De nombreuses sociétés indiquent qu'une des méthodes les plus rapides, dans le cas des lignes aériennes à haute tension, consiste à faire inspecter immédiatement le tronçon défectueux par une équipe chargée de découvrir le défaut. Si l'inspection ne donne aucun résultat, on remet la tension sur la ligne ou l'on emploie une des méthodes classiques, galvanoscope, pont de Wheatstone. Eventuellement, on procède à une nouvelle visite en s'aidant de jumelles.

Pour les lignes souterraines à haute tension, il ne paraît pas y avoir de ligne de conduite bien uniforme. Cependant, il est évident que la première opération est de rechercher le tronçon défectueux et de l'isoler. On se sert couramment, en Belgique, de la méthode du pont de Wheatstone (le défaut ayant éventuellement été brûlé), de mesures de capacité à l'aide de galvanomètres balistiques, de la méthode de la boucle; certaines sociétés se servent avec succès du téléphone pour la détermination de l'endroit précis du défaut.

La durée de la recherche et de la réparation varie de deux à sept heures pour les lignes aériennes, de moins de 25 000 v. Quant aux réparations sur les canalisations souterraines, il est très difficile d'estimer le temps nécessaire; à titre d'indication, notons que l'on compte deux jours pour exécuter une boîte de jonction à 26 000 v sur câbles métallisés.

Au sujet du plan proposé dans le rapport général pour l'établissement d'un critérium caractéristique de la permanence du service, l'Union des Exploitations électriques en Belgique a réuni dans son rapport les objections formulées par quelques sociétés. Tout d'abord, en ce qui concerne la possibilité de déterminer avec une approximation suffisante l'importance intrinsèque en kilowatts-heures des interruptions, une société fait remarquer que les charges des réseaux sont trop variables et trop dissemblables d'une installation d'abonné ou d'une cabine à l'autre à différentes heures de la journée. D'autre part, sauf pour les accidents provenant de l'usine génératrice, la fermeture des circuits ne se fait jamais simultanément chez tous les abonnés, étant donné que, la plupart du temps, la reprise de la charge du câble en défaut se fait par plusieurs autres câbles, donc à des endroits et en des moments différents; les heures de ces manœuvres sont d'ailleurs bien souvent approximatives. En outre, après chaque interruption, les abonnés ne remettent pas leurs installations immédiatement en service.

Une autre société critique le plan proposé en raison de ce que l'importance relative des interruptions en heures donnera un résultat qui dépassera la durée réelle, eu égard au fait que la durée moyenne d'utilisation de la puissance maximum débitée par une usine génératrice est inférieure à 8 760 heures. D'une façon concrète, cette société signale qu'une interruption générale d'une durée d'une demi-heure au moment où la charge d'une usine est de 20 000 kw dans un réseau dont la pointe annuelle est de 25 000 kw et l'utilisation annuelle, de 2 000 heures, donnerait pour importance relative 105,12 minutes. La même interruption, de la même durée, sous la même charge dans un réseau de même pointe et dont l'utilisation annuelle serait de 6 000 heures, n'interviendrait dans la statistique annuelle que pour une durée de 35,04 minutes. Cette société ajoute qu'en exprimant les interruptions en durée, on manque de psychologie ; les clients importants qui viendraient à avoir connaissance de ces statistiques en seraient déplorablement impressionnés.

VIII. **Permanence du service des entreprises de production et de distribution d'énergie électrique.** Rapport de Marc Dutoit, ingénieur chef d'exploitation des usines électriques d'Olten-Aarbourg. — Répondant moins directement que les précédents au questionnaire soumis aux membres de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, ce rapport de neuf pages de texte comprend trois parties.

1. Causes principales provoquant les perturbations de service. — Dans cette partie est établie une classification des causes principales provoquant les perturbations de service, à savoir : les défauts dans la conception des installations et du matériel employé; le manque d'installations ou de matériel de réserve; l'insuffisance de la qualité et de la capacité du personnel d'exploitation, de haut en bas de la hiérarchie; le système d'organisation et de marche de l'exploitation; les cas de force majeure et la malchance.

Analysant successivement ces diverses causes M. Dutoit attire l'attention sur les points encore faibles. En ce qui concerne, en particulier, la conception du matériel, « il reste, écrit M. Dutoit, de grands progrès à réaliser dans l'appareillage : régulateurs divers, relais, transformateurs de courant et, avant tout, les interrupteurs pour grandes puissances, ceux-ci restant la bête noire pour bien des entreprises de grande envergure. Il est toutefois réjouissant, ajoute-t-il, de constater avec quelle intensité constructeurs et exploitants travaillent aujourd'hui à ce problème ». L'auteur insiste à ce propos sur la nécessité d'essais d'interrupteurs sur le réseau même. Un autre point faible est celui des isolateurs rigides pour des tensions supérieures à 50 kv dont la technique laisse encore à désirer, tandis que la question des isolateurs suspendus semble résolue.

Les compétences du personnel doivent être convenablement utilisées et le rapporteur fait ressortir le rôle du chef d'entreprise dans la répartition judicieuse de ces compétences, qui exige de ce fait une certaine dose de psychologie.

Dans la partie du rapport relative à la question du système d'organisation au point de vue de son influence sur la permanence du service nous relevons la remarque suivante :

« L'organisation interne des services varie beaucoup et se répercute de façon différente sur la permanence de la fourniture, suivant qu'il s'agit d'une entreprise ou de l'autre. A ce sujet nous nous permettrons de citer deux principes très différents d'organisation. La première entreprise considère que le rôle de ses ingénieurs et techniciens d'exploitation est avant tout de se confiner au bureau, d'où ces agents donneront des ordres à distance, exigeront des rapports de sous-ordres, prendront connaissance des perturbations de service et feront faire les réparations d'urgence et le contrôle des pannes par des chefs monteurs ou de simples monteurs et seront très heureux d'apprendre après un nombre

d'heures que le service est de nouveau en ordre et que tout est pour le mieux dans le meilleur des mondes. Après cela ils écriront un rapport très circonstancié à une instance supérieure ! Quelles expériences retireront ces chefs de service de la pratique?

» La seconde entreprise, d'étendue identique et possédant le même personnel, exige de ses ingénieurs ou techniciens que ceux-ci aient un contact suivi non seulement avec le personnel en sous-ordre, mais encore avec les installations et que l'un d'eux, chaque fois qu'une perturbation d'importance survient, soit présent et dirige les dispositions qu'elle nécessite de prendre et assiste à la réparation. Et cela, non pas par méfiance envers le personnel subalterne qui exécute la réparation, dont il serait seul très capable, mais uniquement pour acquérir de l'expérience sur les causes et effets des perturbations et leur répercussion sur le service général. Car il n'y a pas de doute, que seule une étude critique des cas de pannes peut amener à déterminer les points faibles chroniques d'une installation et à éliminer par la suite les sources de perturbations. Or, on ne peut pas exiger cela d'un personnel ouvrier, aussi capable soit-il.

» Dans les deux cas les frais d'exploitation sont les mêmes, mais les résultats, au cours des exercices, sont fort différents et tout à l'avantage de la seconde méthode, qui ne s'est pourtant pas encore généralisée, malgré sa logique. »

Dans le cas de la marche en parallèle d'usines appartenant à des sociétés différentes, il faut admettre que les chefs de chacune des entreprises intéressées perdent une partie de leur pouvoir chacun respectivement sur la marche de son exploitation. Seule une collaboration étroite, intelligente et désintéressée de ces chefs d'exploitation pourra améliorer le degré de permanence du service de leurs entreprises, les questions techniques de la marche en parallèle devant toujours l'emporter sur celles des avantages économiques de telle ou telle entreprise.

2. Les statistiques de perturbations et d'interruptions de service. — Partisan de l'établissement de statistiques, le rapporteur indique la disposition adoptée pour ces statistiques par quelques sociétés suisses de production et de distribution. Une première division relative aux renseignements permettant le classement des perturbations est la suivante : 1° jour de la perturbation ; 2° lieu de la perturbation ; 3° suites techniques de la perturbation ; 4° durée de la perturbation ; 5° époque de la perturbation (date et heure). Chacun de ces groupes est subdivisé à son tour ; ainsi, le lieu de la perturbation comprend quatre subdivisions : *a*) Usines génératrices, poste de transformation ou de couplage ; *b*) lignes ; *c*) installations d'abonnés ; *d*) causes inconnues, non explicables. On peut encore subdiviser pour plus de précision chacun de ces sous-groupes. On distingue également les tensions de service. En résumé, le tableau contient 400 cases dont chacune a son numéro de repère.

Ce n'est qu'un exemple que donne le rapporteur, qui reconnaît la difficulté d'établir un seul type de statistique universellement adopté. « Le but des statistiques étant de rechercher les points faibles d'une exploitation déterminée et d'améliorer ainsi la permanence de son service, il est logique que chaque entreprise choisisse, pour elle-même et non dans un but d'intérêt collectif, le modèle le plus simple possible, le mieux adapté à son organisation. »

3. Recherche d'un index pratique de la permanence des services d'une exploitation déterminée. — Un index caractéristique de la permanence du service pourrait être défini comme étant la somme des produits de la durée de chaque interruption par le rapport de la puissance correspondant à l'énergie non fournie par suite de la perturbation à la puissance totale produite avant la perturbation, cette somme s'étendant à toutes les interruptions de l'année ; ce qui conduirait à l'index annuel d'intermittence de l'exploitation.

IX. **La nécessité d'une statistique des irrégularités de marche des centrales thermiques.** Rapport de Nacholinski, ingénieur. — Dans ce rapport, de trois pages de texte, après avoir insisté sur l'intérêt de telles statistiques, dont les résultats pourraient être rapprochés et discutés dans les réunions des Unions nationales de Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, l'auteur décrit un accident survenu à l'usine génératrice de Lwow le 6 septembre 1929, à la suite de fortes décharges atmosphériques. A ce moment, dans l'usine génératrice, fonctionnaient sur un réseau commun deux turbogénérateurs, l'un d'une puissance de 3 500 kw, l'autre de 6 500 kw. Le réseau de la ville sous 5 000 v est formé exclusivement de câbles souterrains. Un poste de transformation pour réseau aérien à 35000 v est connecté aux barres collectrices de l'usine par un câble souterrain, d'une longueur de 300 m ; il y avait alors en service un transformateur d'une puissance de 1 600 kv-a alimentant le réseau aérien, et relié aux barres collectrices de 5 000 v de l'usine génératrice à l'aide d'un disjoncteur automatique dans l'huile. Ce disjoncteur possédait des bobines à surcharges réglées pour 200 a et 2 s.

Vers 19 h 30, une très forte décharge atmosphérique, au voisinage de l'usine, provoqua une onde de surtension dans le réseau aérien de 35 000 v. L'onde de surtention à front raide ne fut pas entièrement détournée par le parafoudre, mais provoqua une décharge à la surface de l'isolateur de l'une des phases de l'un des disjoncteurs dans l'huile. Il en résulta un court-circuit sur toutes les phases du réseau à 35 000 v, le déclenchement du disjoncteur qui se trouve sur le circuit d'alimentation des transformateurs et une oscillation de la tension.

Après l'arrêt, on découvrit que les tuyaux en fonte, d'un diamètre de 750 mm, placés partiellement dans un canal et dans la terre et amenant l'eau du condenseur au réfrigérant, avaient été endommagés simultanément en deux endroits. Dans le canal en maçonnerie un tuyau

à manchon à cloche d'un diamètre de 750 mm était fendu sur une longueur de 2,5 m, tandis qu'en terre, à une profondeur d'environ 70 cm, un autre tuyau était partagé en deux sur toute sa longueur de 4 m. Les deux tuyaux fendus ne se touchaient pas directement, étant séparés par deux raccords coudés qui restèrent intacts. L'eau de refroidissement s'écoula par les tuyaux fendus des bassins du réfrigérant à un tel point que l'air pénétra dans les tuyaux aspirants, ce qui rendit impossible le maintien du vide. En poursuivant l'examen, on constata la disrupture des bobines à haute tension des deux transformateurs de 225 kv-a chacun, servant à la mise en marche des moteurs des pompes de réfrigération; un transformateur correspondait à la plus petite turbine en service et l'autre intervenait pour la commande de la condensation du turbogénérateur de réserve. Sans expliquer la suite des phénomènes qui ont conduit à ces résultats, l'auteur note que la réparation de la tuyauterie du réfrigérant dura encore environ 20 h après la mise en route du turbogénérateur de réserve; mais, grâce à l'existence d'écluses, cela n'eut pas d'influence sur le maintien en marche des installations de l'usine génératrice.

X. **La protection sélective**. Rapport de André Jonnart, sous-directeur de la Société de Gaz et d'Electricité du Hainaut. — Ce rapport, de douze pages de texte avec douze figures, contient des renseignements limités aux installations existantes ou à réaliser en Belgique, l'auteur se bornant à décrire les solutions adoptées sans entrer dans le détail de la construction des appareils, de leur fonctionnement et de leur montage.

1. Protection des alternateurs. — Cette protection peut être assurée par des relais à retour d'énergie, mais au lieu de deux relais wattmétriques monophasés sur les réseaux triphasés, il est préférable d'utiliser un seul relais à deux équipages montés sur un même arbre dont les éléments sont couplés électriquement; ainsi sont évités les déclenchements intempestifs qui peuvent se produire dans le premier cas, sur l'un ou l'autre des deux relais couplés comme deux wattmètres, lorsque le couple s'inverse, ce qui a lieu si le facteur de puissance est inférieur à 0,5. Il est à noter toutefois que le relais unique à deux éléments peut aussi donner lieu à des déclenchements intempestifs si les courants de capacité sont importants, le point neutre de l'alternateur étant isolé.

La protection différentielle est encore peu répandue en Belgique; la seule application que mentionne le rapporteur est celle qui en est faite par les Centrales électriques des Flandres et du Brabant; elle est du système dit à équilibre des tensions.

2. Protection des transformateurs. — La même société précitée est la seule qui ait adopté un dispositif de protection différentielle, mais, dans ce cas, à équilibre des courants. Un certain nombre d'entreprises ont recours à la protection Buchholz, qui n'est applicable qu'aux transformateurs munis de conservateurs d'huile. La Société d'Electricité de la Campine et la Société de Gaz et d'Electricité du Hainaut ont constaté qu'après une réparation à un bobinage, l'air ayant été emprisonné et s'échauffant lors de la remise en service provoque intempestivement le fonctionnement du système Buchholz; elles ont, par suite, réduit son rôle à celui d'avertisseur par sonnerie.

3. Protection des réseaux. — Pour la protection des feeders rayonnants, la solution la plus répandue est celle consistant à prévoir des relais à courant maximum. Le rapporteur signale l'intérêt du relais d'impédance, mais il n'en connaît pas d'application. Il mentionne également l'emploi d'un relais sélectif destiné à protéger le réseau contre les défauts à la terre, solution décrite par M. Cornu dans cette revue (1) et qui est réalisée sur le réseau de câbles souterrains métallisés de la Société d'Electricité de la Campine.

Dans le cas des réseaux à boucles et à mailles, le rapporteur signale l'emploi du relais d'impédance par la Société provinciale du Gaz et de l'Electricité, seul exemple d'une protection par ce type de relais.

Le problème de la protection de plus de deux feeders en parallèle dans lesquels le sens de l'énergie peut varier est résolu par le dispositif polygonal système Bauch dont le principe consiste à relier entre eux en circuit fermé ou polygonal les secondaires des transformateurs de courant insérés dans la même phase de chacun des feeders et à intercaler les relais de courants en des points convenablement choisis. Les relais ne sont traversés par un courant que si une surintensité se produit sur un feeder.

XI. **Discussion**. — A la suite de plusieurs observations présentées par MM. E.-O. Meyer, Motta, par M. Polack qui insiste sur diverses considérations contenues dans son rapport particulier, par M. List qui propose une formule intéressante et d'autres membres du Congrès qui signalent, soit l'intérêt de la protection sélective des réseaux, soit l'intérêt qu'il y a à protéger non seulement les réseaux, mais les usines génératrices, notamment contre les dangers d'incendie, et une nouvelle intervention de M. Uytborck, rapporteur général, le Congrès décide que la très importante question de la permanence du service doit rester à l'ordre du jour des congrès internationaux et charge le Comité de Direction de l'Union internationale de proposer aux associations, membres actifs de l'Union, une formule qui tiendrait compte, non seulement de la durée et de l'importance des interruptions de service, mais également du nombre d'interruptions. — A. C.

(1) F. Cornu; Note sur les câbles à surfaces équipotentielles. *Revue générale de l'Electricité*, 18 août 1928, t. XXIV, p. 253-254.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Les métadynes entre elles et leurs dérivées

Suite (*)

I. **Examen comparatif des divers montages** (*suite*). — 10. De la métadyne en araignée. — Nous ne nous arrêterons pas aux autres montages de la métadyne à trois ou à quatre balais et nous passerons au montage à six balais représenté dans sa généralité par la figure 15 et que nous appellerons « montage en araignée ». Comme variables nous pouvons prendre les courants aux balais I_a, I_b, I_c, I_d, I_e, I_f; les différences de tension entre balais; le courant du régulateur I_q.

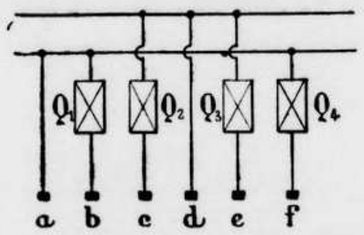


Fig. 15. — Schéma général du montage en araignée de la métadyne.

Nous avons les équations suivantes

$$\left.\begin{aligned} &\sum_a I_a = 0, \\ &V = V_{da}, \\ &\sum_a V_a I_a = 0, \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

où V est la tension constante du réseau et la dernière équation, celle de la régulation; à ces équations s'ajoute une équation par chaque différence de tension entre balais.

A cause de ces dernières équations nous pouvons nous limiter à considérer uniquement les sept courants et les trois équations (17).

Il nous reste donc quatre variables indépendantes.

D'autre part, les courants et tensions relatifs aux appareils conduits représentent huit variables (I_b, I_c, I_e, I_f, V_{ab}, V_{cd}, V_{de}, V_{fa}) il y a donc $\binom{8}{4}$ (1) = 70 équations caractéristiques fondamentales de la métadyne en araignée représentables par des variétés à quatre dimensions rapportées à un système de cinq axes de coordonnées.

Prenons en considération le montage dérivé particulier en araignée de la métadyne représenté sur la figure 16; admettons l'enroulement à tambour à pas diamétral et nous aurons

$$V_{ab} + V_{de} = 0; \qquad V_{cd} + V_{fa} = 0;$$

en appliquant le douzième mode de construction, rendons $V_{ab} + V_{cd} = 0$; supposons enfin que les quatre

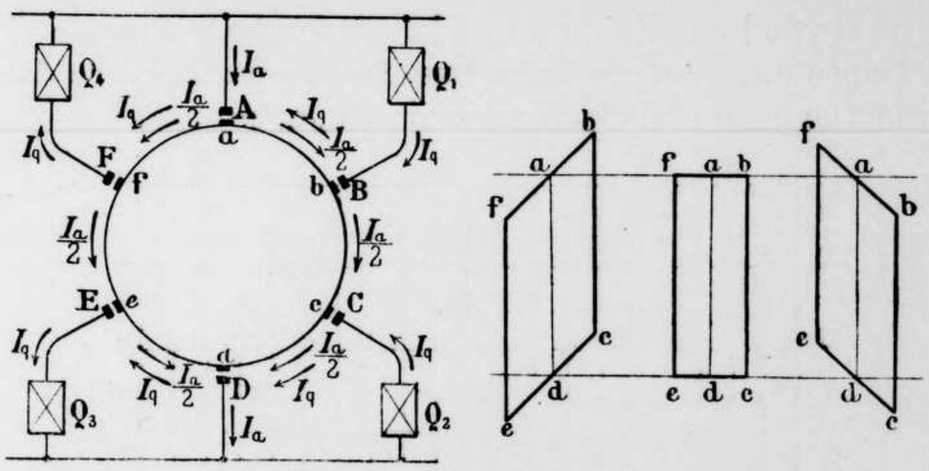


Fig. 16. — Schéma d'un montage dérivé particulier de la métadyne en araignée et diagrammes des tensions.

appareils conduits Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, soient identiques et aient le même fonctionnement; ils se trouveront tous sous une même différence de potentiel; par conséquent nous aurons nécessairement

$$I_b = I_c = -I_e = -I_f,$$

ce qui fait trois équations supplémentaires. Il reste alors une seule variable indépendante et il y a une seule caractéristique fondamentale susceptible d'être représentée par une courbe référée à deux axes de coordonnées. Nous retombons alors dans les mêmes formes de caractéristiques fondamentales que nous avons trouvées pour le montage en Y, l'équation de la régulatrice se réduisant à

$$V_{da} I_a + 4 V_{ab} I_b = 0. \qquad (18)$$

A droite de la figure 16 nous avons tracé quelques diagrammes vectoriels correspondant à ce cas particu-

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 22 novembre 1930, XXVIII, p. 813-820.

(1) Rappelons que le symbole $\binom{m}{n}$ représente le nombre de combinaisons de m objets pris n à n, on a donc bien ici $\binom{8}{4} = \frac{8 \times 7 \times 6 \times 5}{4!} = 70$.

lier et à coté des différents segments de l'induit nous avons porté les courants qui les parcourent dans la direction de la petite flèche correspondante en appliquant le cinquième théorème. Nous avons donc tous les éléments pour déterminer l'indice de dimensions.

Soit

$$|V_{ab}|_{max} = V_q = k\,|V_{ad}|\,;$$

alors

$$V_z = 2\,V_q + |V_{ad}| = V_q\,\frac{2k+1}{k}\,;$$

$$\theta_{ab} = \pi\,\frac{k}{1+2k}\,; \qquad \theta_{bc} = \pi\,\frac{1}{1+2k}\,;$$

de l'équation (18) nous déduisons

$$I_a = 4\,k\,I_q,$$

donc,

$$I_z = \sqrt{\frac{2}{\pi}\sum_{ab}\theta_{ab}I_{q_a}^2} = I_q\sqrt{8\,\frac{k}{1+2k}\,[1+2k+4k^2]},$$

et enfin,

$$D = \frac{V_z I_z}{2\,\Sigma V_q I_q} = \sqrt{\frac{1+2k}{8k}\,[1+2k+4k^2]}, \qquad (19)$$

formule de laquelle on a tiré la courbe de la figure 17.

Reprenons encore la même forme particulière du montage de la métadyne en araignée, avec enroulement

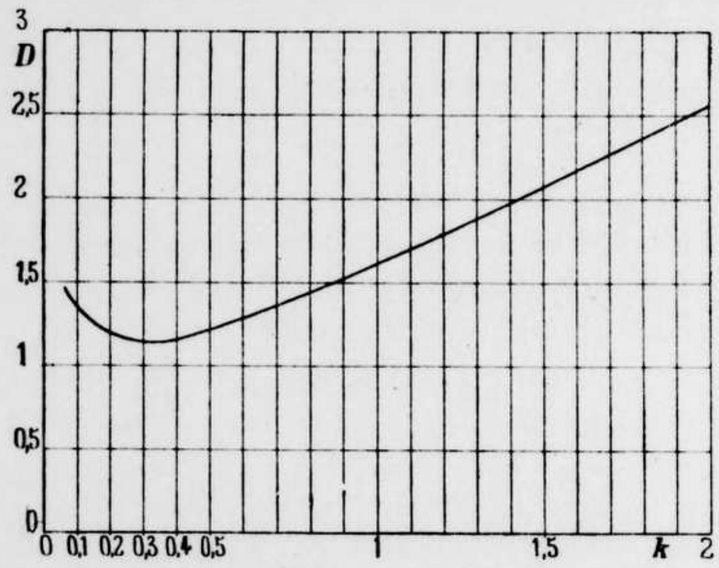


Fig. 17. — Courbe des variations de l'indice de dimensions D en fonction de k dans le cas de la métadyne en araignée.

à tambour à pas diamétral, avec les quatre appareils conduits identiques fonctionnant dans les mêmes conditions ; mais appliquons le douzième mode de construction de manière à avoir

$$V_{ab} - V_{cd} = 0\,;$$

nous aurons alors les diagrammes vectoriels tracés à droite de la figure 18 et les équations supplémentaires

$$I_b = -I_c = -I_e = I_f.$$

L'équation caractéristique fondamentale est unique et elle peut être représentée par une courbe rapportée à deux axes de coordonnées ayant les mêmes formes que nous avons trouvées pour le montage en Y, l'équation de la régulatrice se réduisant à

$$V_{da}I_a + 2\,V_{da}I_b + 4\,V_{ab}I_b = 0. \qquad (20)$$

A gauche de la figure 18 nous avons indiqué en valeur

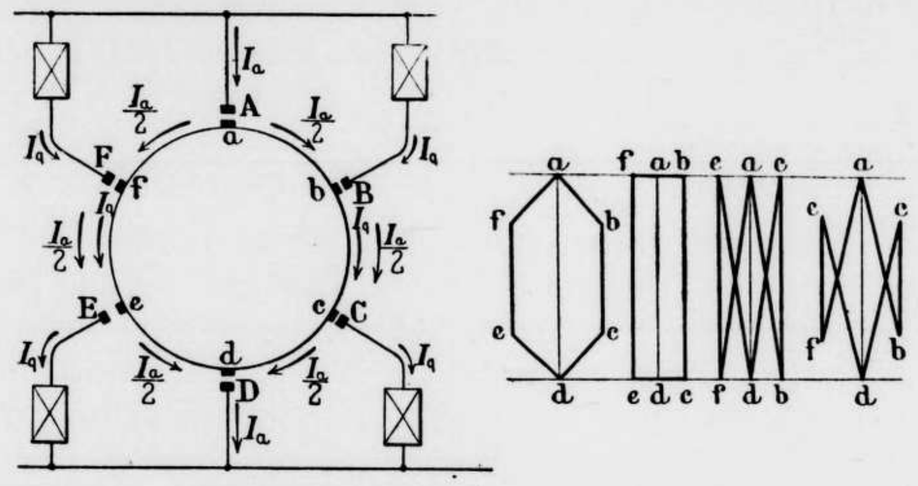


Fig. 18. — Schéma montrant la répartition des courants dans la métadyne en araignée, par application du cinquième théorème et diagrammes des tensions.

et sens les courants dans l'induit en appliquant le sixième théorème.

Soit

$$|V_{ab}|_{max} = V_q = k\,|V_{ad}|,$$

de l'équation (20) nous tirons

$$I_a = I_q\,2(1-2k).$$

A partir de ce point nous distinguerons deux cas.

Premier cas. — Les diagrammes vectoriels sont ceux de la figure 18 ou des diagrammes intermédiaires. — On a

$$V_{ad} \leq V_{ab} \leq 0. \qquad (21)$$

Nous supposons, en général, la ligne du réseau, en haut sur la figure, à un potentiel supérieur à la ligne du réseau, en bas sur la figure.

Alors

$$k \leq 1, \quad \theta_{ab} = \pi\,\frac{k}{1+2k}\,; \quad \theta_{bc} = \pi\,\frac{1}{1+2k},$$

$$V_z = V_q\,\frac{2k+1}{k}\,, \quad I_z = I_q\sqrt{\frac{8k}{1+2k}\,[4k^2-2k+1]}$$

donc

$$D = \frac{1}{4}\sqrt{2\,\frac{1+2k}{k}\,[4k^2-2k+1]}. \qquad (22)$$

Deuxième cas. — Les diagrammes vectoriels sont ceux de la figure 18 plus ceux de la figure 19. — Dans ce cas les conditions spécifiées par les équations (21) ne sont pas satisfaites

alors $k \geq 1$; $\theta_{ab} = \pi\,\frac{k}{4k-1}$; $\theta_{bc} = \pi\,\frac{2k-1}{4k-1}$,

$$V_z = V_q\,\frac{4k-1}{k}\,, \quad I_z = I_q\sqrt{8k\,(2k-1)}$$

et

$$D = \frac{4k - 1}{4} \sqrt{2 \frac{2k - 1}{k}}. \qquad (23)$$

Sur la figure 20 nous avons tracé les courbes correspondant aux formules (22) et (23); naturellement au point d'abscisse $k = 1$ il n'y a pas de tangente unique. La comparaison des courbes des figures 17 et 20 est favorable au schéma de la figure 18 tant que k est inférieur à 1,5 et elle est favorable au schéma de la

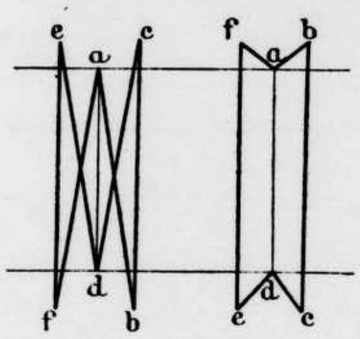


Fig. 19. — Autres diagrammes des tensions de la métadyne montée en araignée.

figure 16 pour les valeurs supérieures. Ces deux schémas ont d'ailleurs d'autres caractères différents dont il est question au paragraphe suivant. Il y a lieu de faire au sujet de la mise en court-circuit éventuelle des balais

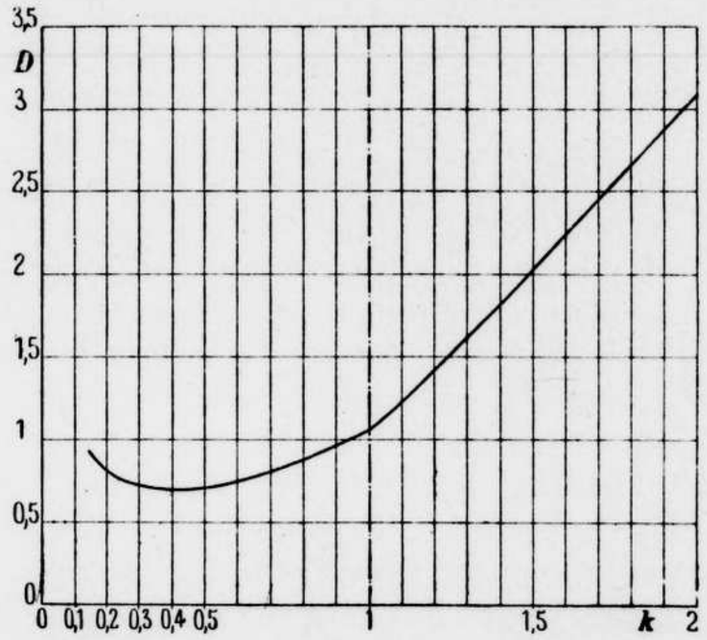


Fig. 20. — Courbes des variations de l'indice de dimensions D en fonction de k, pour $k < 1$ et pour $k > 1$.

b et f et des balais c et e sur le schéma de la figure 18, les même remarques que celles faites pour la même question en décrivant le montage en trident.

11. De la métadyne en croix de Lorraine et en double écharpe. — La figure 21 donne une forme particulière et que nous appellerons « montage en croix de Lorraine » qui présente des analogies avec celle donnée par la figure 16 du montage en araignée. Le montage dont la figure 22 donne une forme particulière et que nous appellerons « montage à double écharpe », présente les analogies avec celle donnée par la figure 18 du montage en araignée. Le tracé des courbes de D en fonction de k démontre qu'il y a pour chaque montage de la métadyne une zone optimum d'application en ce qui concerne le poids et certains montages, à ce point de vue, sont plus intéressants, supérieurs pour certaines zones, et moins intéressants pour d'autres. Pour chaque cas particulier

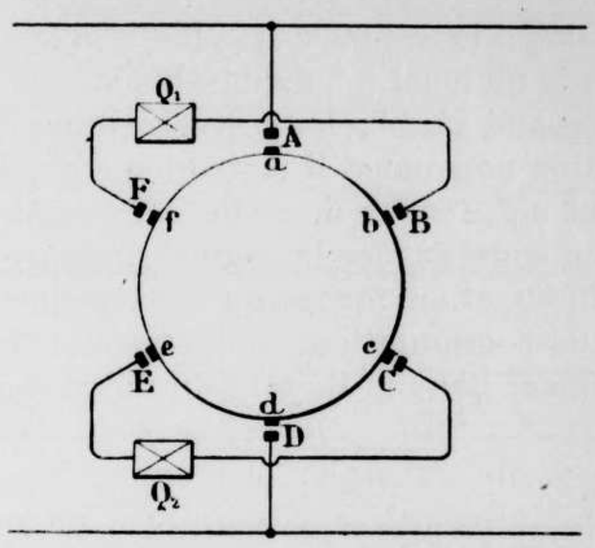


Fig. 21. — Schéma du montage de la métadyne en croix de Lorraine.

d'application de la métadyne il y a donc, en ce qui concerne l'indice de dimensions, un montage particulier qui lui correspond le mieux. Toutefois, l'indice de dimen-

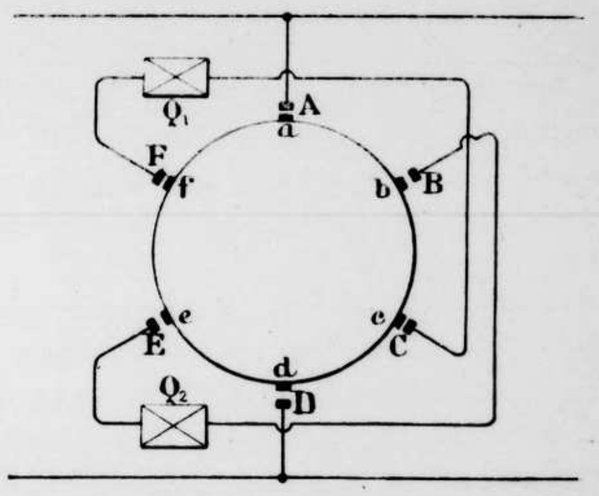


Fig. 22. — Schéma d'un autre mode de montage de la métadyne en croix de Lorraine dit « en double écharpe ».

sions ne doit pas servir comme base unique du choix, et souvent d'autres considérations doivent l'emporter.

12. Du balais déplaçable. — En examinant le fonctionnement des quelques exemples de montages de la métadyne, considérés plus haut, quand on a fait varier les tensions entre balais non connectés tous les deux au réseau à tension constante, on remarque que de certains segments polaires statoriques émane le flux maximum dont ils sont capables seulement pour certains points de fonctionnement, tandis que pour la plupart des points de fonctionnement ils sont traversés par un flux bien plus faible. Si, au fur et à mesure que l'on change de point de fonctionnement, on pouvait modifier la proportion des arcs compris entre les balais, de manière à avoir sous tous les segments polaires statoriques le champ maximum admissible, on arriverait à des dimensions bien plus réduites pour la métadyne.

Treizième mode de construction. — Pour modifier le rapport $\frac{\theta_{ab}}{\theta_{bc}}$ entre les arcs compris entre trois balais

consécutifs a, b et c, on peut disposer sur le collecteur plusieurs balais b′, b″, b‴, ... $b^{(n)}$ le long de l'arc compris entre les balais a et c et connecter parmi ces balais b′, b″. ... $b^{(n)}$ seulement celui qui subdivise l'arc Q_{ac} dans le rapport le plus convenable. Nous dirons avoir un balai b « déplaçable »,

Chaque balai b′, b″, ... $b^{(n)}$ détermine des axes de commutation nouveaux. Il reste bien entendu que conformément au premier mode de construction, on subdivisera en conséquence le segment polaire statorique et ses bobines et on ménagera éventuellement autant de pôles de commutation bobinés conformément aux règles données dans la théorie du fonctionnement statique (1).

Prenons, par exemple, le montage en huit de la métadyne. Entre autres possibilités, on peut laisser fixes les balais c et d connectés aux appareils conduits Q_1 et Q_2 et rendre déplaçables les balais a et c connectés au réseau; on peut aussi faire l'inverse; la figure 23 correspond au premier cas et la figure 24, au deuxième cas. Le balai « déplaçable » peut se « déplacer » si l'on veut jusqu'à ce qu'il coïncide avec un des deux balais hétéronymes consécutifs.

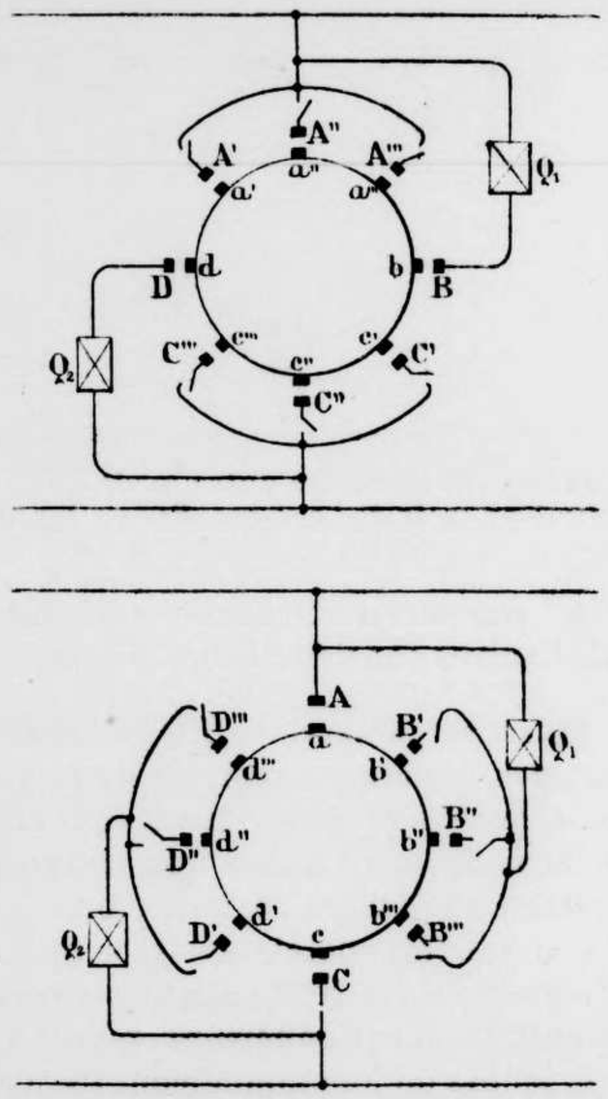


Fig. 23 et fig. 24. — Schémas de montage de la métadyne en huit avec balais déplaçables.

Si l'on se limite à un enroulement stabilisateur embrassant les segments polaires statoriques qui encadrent les balais fixes, on voit alors facilement que le schéma de la figure 23 se prête bien pour un enroulement stabilisateur parcouru par les courants I_b et I_d, tandis que le schéma de la figure 24 se prête bien pour un enroulement stabilisateur parcouru par les courants I_a et I_c.

On pourrait reprendre le calcul de l'indice de dimensions en faisant une hypothèse sur la proportion du temps où chaque rupture correspondant à un des balais « déplaçable » est fermé; mais il faut tenir compte du poids de l'appareillage supplémentaire nécessaire pour le « déplacement » du balai. D'autre part, ce poids ne peut pas être comparé à celui de la métadyne à cause du prix plus élevé par unité de poids de l'appareillage, relativement à celui de la métadyne et surtout à cause des aléas autrement importants correspondant à l'augmentation de l'appareillage.

13. Passage d'un montage de la métadyne a un autre. — Avec la même métadyne on peut passer d'un montage à un autre très simplement en établissant des connexions nouvelles ou en interrompant certaines connexions existantes et ainsi on modifie profondément le fonctionnement de l'ensemble. Le passage d'un montage à un autre se fera sans à-coups si on établit des connexions entre des points dont la différence de potentiel est devenue nulle et si on coupe des connexions parcourues par un courant au moment où celui-ci passe par zéro. Particulièrement intéressants sont ces changements de montage qui permettent de relier sans à-coups au réseau les appareils conduits tout en conservant pour la métadyne un montage qui entraîne de faibles pertes d'énergie et qui se prête au rétablissement sans à-coups des connexions entre la métadyne et les appareils reliés au réseau.

Prenons, par exemple, le montage en croix de la figure 25 et prévoyons les ruptures F et F′; quand la tension $V_{bd} = V_{ac}$, on peut fermer les deux ruptures sans à-coups et alors l'appareil conduit Q reste directement à la ligne et on a le schéma des connexions de la figure 26. On pourra réduire alors le courant dans la métadyne à une faible valeur et la faire tourner avec de faibles pertes. Pour placer l'appareil Q sous la conduite de la métadyne on n'aura qu'à ouvrir les ruptures F et F′ et aucun à-coup ne se produira. De même la figure 27 représente un montage en huit avec trois ruptures F, F′ et F″. En fermant F seulement, on a le schéma de la figure 28 où les appareils conduits sont en série entre eux et reliés à la ligne. En fermant les ruptures F′ et F″ seulement, on passe au schéma de la figure 29 où les moteurs sont directement branchés sur la ligne. Il en est de même pour le montage en araignée avec des ruptures disposées comme le montre la figure 30; on passe soit au schéma de la figure 31, soit au schéma de la figure 32, et inversement, sans difficultés.

II. Accouplements des métadynes entre elles. — 1. Accouplement en parallèle, avec appareils conduits séparés. — Nous considérons ici la métadyne et les appariels qu'elle conduit comme un ensemble et nous

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 5 mars 1930, t. XXVII, p. 364-365.

nous proposons d'étudier le fonctionnement quand on accouple plusieurs ensembles de ce genre. En premier lieu nous considérons l'accouplement de ces ensembles en parallèle entre eux sur le même réseau ; nous ferons

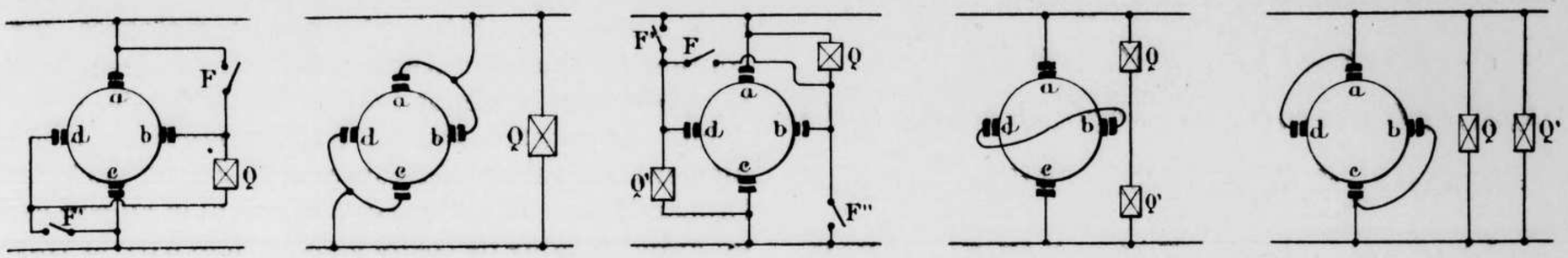


Fig. 25 à fig. 32. — Schémas de montage de la métadyne en croix, en huit et en araignée avec une ou plusieurs ruptures permettant de modifier les connexions entre la métadyne, le ou les appareils conduits et le réseau.

les calculs relatifs au montage en Y de la métadyne, les raisonnements relatifs à ce montage pouvant s'appliquer à tout autre montage.

Nous faisons ici encore la distinction entre le régime stationnaire et le régime transitoire et nous prenons en considération le régime stationnaire d'abord. Supposons, pour la simplicité de l'exposé, que nous ayons n métadynes semblables ; sur la figure 33 on en a représenté trois ; elles sont connectées au même réseau et

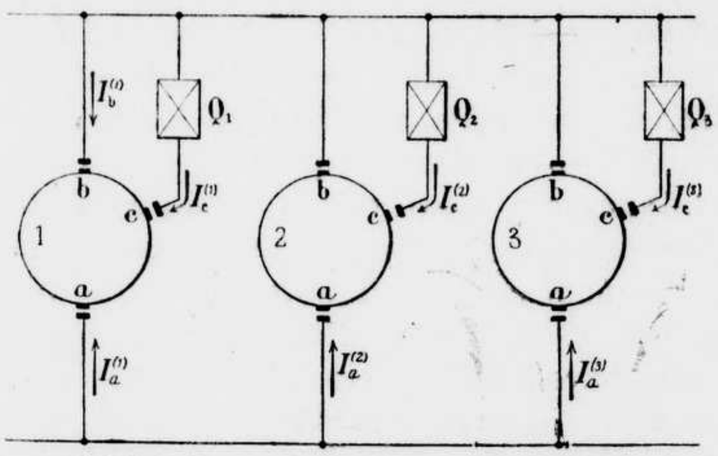


Fig. 33. — Schéma de montage d'un ensemble de trois métadynes en parallèle avec un appareil conduit pour chaque métadyne.

conduisent chacune des appareils semblables ; si les machines et les conditions de fonctionnement sont identiques, chaque métadyne demandera au réseau un courant identique, mais il y a toujours de petites différences de construction et alors surgissent les deux questions suivantes que nous traiterons :

1° Quelle est la correction à apporter au courant prévu demandé au réseau par une métadyne qui présente un défaut de construction donné?

2° Quelle est la correction à apporter au courant prévu demandé au réseau par une métadyne sans défauts de construction, mais qui, à cause d'une asymétrie du réseau, est soumise à une tension un peu différente de celle à laquelle les autres métadynes sont soumises?

Il est nécessaire de préciser la nature de l'appareil conduit ; nous en comprenons une grande variété en admettant que l'appareil conduit soit le siège d'une force électromotrice qui rapportée au sens positif du courant I_c, (fig. 33) s'exprime par la forme suivante :

$$-\Omega\,[k_1 I_a + k_2 I_c + k_3 V_{ab} + k_4 V_{bc} + k_5 I_\varrho] \qquad (24)$$

où Ω, k_1, k_2, ..., k_5 sont des paramètres.

Le régime stationnaire est alors défini par les équations suivantes, en reprenant les annotations de la théorie du fonctionnement statique de la métadyne

$$\left.\begin{aligned}
V_{ab} &= NKg^2(\nu-1)I_c + N\Lambda g\,[S_{A1}I_a + S_{A2}I_c + S_{A3}V_{ab} \\
&\quad + S_{A4}V_{bc} + S_{A5}I_\varrho] + N\Lambda g(\nu-1)\,[S_{C'1}I_a + S_{C'2}I_a \\
&\quad + S_{C'3}V_{ab} + S_{C'4}V_{bc} + S_{C'5}I_\varrho], \\
V_{bc} &= NKg^2(\nu-1)I_a - N\Lambda g\,[S_{A1}I_a + S_{A2}I_c \\
&\quad + S_{A3}V_{ab} + S_{A4}V_{bc} + S_{A5}I_\varrho], \\
V_{ab}I_a &- V_{bc}I_c = 0, \\
V_{bc} &+ \Omega[K_1 I_a + K_2 I_c + K_3 V_{ab} + K_4 V_{bc} + K_5 I_\varrho] = 0.
\end{aligned}\right\} \qquad (25)$$

Les coefficients des variables V_{ab}, V_{bc}, I_a, I_c, I_ϱ sont tous des paramètres que pour la simplicité des écritures nous représenterons par les lettres p_α, p_β, p_ϱ.

Eliminons les trois variables I_c, I_ϱ, V_{bc} entre les quatre équations (25) et nous obtenons la conique

$$V_{ab}^2\,\alpha + I_a^2\,\beta + V_{ab}I_a\gamma = 0, \qquad (26)$$

où les coefficients α, β, et γ ont les valeurs suivantes

$$\alpha = (1 - N\Lambda g S_{\alpha 3})^2 H_1 H_4 + \Lambda^2 g^2 S_{\Lambda 3}^2 H_2 H_5 + K_3^2 H_3 H_6$$
$$+ (1 - N\Lambda g S_{\alpha 3})\,\Lambda g S_{\Lambda 3}\,(H_1 H_5 + H_2 H_4)$$
$$+ \Lambda g S_{\Lambda 3} K_3 (H_2 H_6 + H_3 H_5) + (1 - N\Lambda g S_{\alpha 3}) K_3 (H_3 H_4 + H_1 H_6),$$

$$\beta = N^2 \Lambda^2 g^2 S_{\alpha 1}^2 H_1 H_4 + (\Lambda g S_{\Lambda 1} - K g^2 (\nu - 1))^2 H_2 H_5$$
$$+ K_1^2 H_3 H_6 - N\Lambda g (\Lambda g S_{\Lambda 1} - K g^2 (\nu - 1))(H_1 H_5 + H_2 H_4) S_{\alpha 1}$$
$$+ (\Lambda g S_{\Lambda 1} - K g^2 (\nu - 1))\, K_1 (H_2 H_6 + H_3 H_5)$$
$$- N\Lambda g S_{\alpha 1} K_1 (H_3 H_4 + H_1 H_6),$$

$$\gamma = 2 (N\Lambda g S_{\alpha 3} - 1)\, N\Lambda g S_{\alpha 1} H_1 H_4 + 2\Lambda g S_{\Lambda 3} (\Lambda g S_{\Lambda 1}$$
$$- K g^2 (\nu - 1))\, H_2 H_5 + 2 K_3 K_1 H_3 H_6$$
$$+ [(1 - N\Lambda g S_{\alpha 3})(\Lambda g S_{\Lambda 3} - K g^2 (\nu - 1))$$
$$- N\Lambda^2 g^2 S_{\alpha 1} S_{\alpha 3}] (H_1 H_5 + H_2 H_6) + [\Lambda g S_{\Lambda 3} K_1 + (\Lambda g S_{\Lambda 3}$$
$$- K g^2 (\nu - 1)) K_3] (H_2 H_6 + H_3 H_5) + [(1 - \Lambda N g S_{\alpha 3}) K_1$$
$$- N\Lambda g S_{\alpha 1} K_3] (H_3 H_4 + H_1 H_6) + \Delta,$$

où

$$S_{\alpha h} = S_{\Lambda h} + (\nu - 1)\, S_{ch} \quad \text{où} \quad h = 1, 2, 3, 4, 5,$$
$$H_1 = \Lambda g [S_{\Lambda 5} (\Omega K_4 + 1) - S_{\Lambda 4} \Omega K_5],$$
$$H_2 = N\Lambda g [S_{\alpha 5} (\Omega K_4 + 1) - S_{\alpha 4} \Omega K_5],$$
$$H_3 = \Omega N \Lambda^2 g^2 (S_{\Lambda 5} S_{\alpha 4} - S_{\Lambda 4} S_{\alpha 5}),$$
$$H_4 = \Omega \Lambda g (K_5 S_{\Lambda 2} - K_2 S_{\Lambda 5}),$$
$$H_5 = \Omega N [(\Delta g S_{\alpha 2} + K g^2 (\nu - 1))\, K_5 - K_2 \Lambda g S_{\alpha 5}],$$
$$H_6 = \Omega N \Lambda g \Lambda [\Lambda g S_{\alpha 5} S_{\Lambda 2} - S_{\Lambda 5} (\Lambda g S_{\alpha 2} + K g^2 (\nu - 1))],$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \Lambda g S_{\alpha 2} + K g^2 (\nu - 1) & \Lambda g S_{\alpha 4} & \Lambda g S_{\alpha 5} \\ \Lambda g S_{\Lambda 2} & \Lambda g S_{\Lambda 4} & \Lambda g S_{\Lambda 5} \\ \Omega K_2 & \Omega K_4 + 1 & \Omega K_5 \end{vmatrix}.$$

Posons

$$f(V_{ab}, I_a, p_\alpha, p_\beta) \ldots p_\rho) = V_{ab}^2 \alpha + I_a^2 \beta + V_{ab} I_a \gamma = 0, \quad (27)$$

et nous en tirons

$$\frac{\partial I_a}{\partial p_\beta} = - \frac{\dfrac{\partial f}{\partial p_\beta}}{\dfrac{\partial f}{\partial I_a}}, \quad (28)$$

formule qui nous donne la partie principale $\dfrac{\partial I_a}{\partial p_\beta} dp_\beta$ de la correction à apporter au courant I_a quand le seul paramètre p_β subit, à cause d'un défaut de construction, un écart dp_β.

Les variables V_{ab} et I_a figurent aussi bien dans le numérateur que dans le dénominateur de l'expression (28). Donc, pour un défaut donné, le courant I_a subit une modification qui est variable et fonction de la charge transformée par la métadyne. Si des deux termes de la fraction (28) le numérateur seul s'annule, le défaut de construction considéré n'a aucune influence sur le courant I_a; si, au contraire, des deux termes de la fraction (28) seul le dénominateur s'annule, le moindre défaut de construction envisagé modifiera considérablement la valeur du courant I_a. Si, en particulier, l'appareil conduit est une dynamo dont la vitesse est Ω, un grand nombre de coefficients varient avec la vitesse. Il est facile de reconnaître que par rapport au paramètre Ω, la fraction (28) a la forme

$$\frac{\partial I_a}{\partial p_\beta} = \frac{T_1 \Omega^2 + T_2 \Omega + T_3}{R_1 \Omega^2 + R_2 \Omega + R_3},$$

où $T_1, T_2, \ldots R_3$, ne contiennent pas l'argument Ω. En général, les deux valeurs de Ω qui annulent le numérateur sont différentes des deux valeurs qui annulent le dénominateur et pour les premières le défaut dp_β n'a sensiblement aucune influence sur I_a, tandis que pour les deux dernières valeurs de Ω, le défaut dp_β a une grande répercussion sur le courant I_a. Il est donc utile de s'arranger pour que le dénominateur ne s'annule que pour des valeurs complexes de Ω ou des valeurs réelles hors de la zone des valeurs que Ω peut pratiquement prendre.

Il est à noter que Ω est un des paramètres p_α, p_β, ... et l'on pourra étudier de la même manière la dérivée partielle $\dfrac{\partial I_a}{\partial \Omega}$.

Par tous les points pour lesquels la dérivée partielle $\dfrac{\partial I_a}{\partial p_\beta}$ devient infinie, les métadynes se comportent, au point de vue de la répartition du courant I_a, comme des dynamos à excitation indépendante et égale, en parallèle, et alors seule la résistance des circuits limite le déséquilibre des courants quand il y a un défaut sur une des dynamos; la saturation du fer a un effet analogue. Les calculs développés plus haut sur la métadyne ne tiennent compte ni de la résistance interne de la métadyne, ni de la saturation du fer.

Pour répondre à la deuxième question posée au début de ce paragraphe, nous considérons l'équation (26). La conique qu'elle représente se décompose en deux droites qui passent par l'origine. A tout point réel de la caractéristique fondamentale correspond une droite réelle; l'une des droites correspond à un point situé sur une des branches de l'hyperbole et l'autre, à un point situé sur l'autre branche de l'hyperbole qui est, nous l'avons vu, la forme générale de la caractéristique fondamentale. Donc à une variation de V_{ab} correspond une variation proportionnelle de I_a, à moins que la droite correspondante ne soit parallèle à un des axes des coordonnées.

Il est facile de voir que l'on arriverait à une relation entre V_{ab} et une quelconque des variables I_c, V_{bc} et I_ρ de la même forme que la relation (26); donc quand V_{ab} varie, tous les paramètres restant constants, toutes les

variables I_a, I_c, V_{bc}, I_ρ varient proportionnellement et les différentes caractéristiques de la métadyne subissent une déformation homothétique avec l'origine des coordonnées comme centre d'homothétie.

2. ACCOUPLEMENT EN PARALLÈLE AVEC APPAREILS CONDUITS COMMUNS. — Considérons une mise en parallèle plus étroite de plusieurs métadynes en admettant qu'elles soient alimentées par le même réseau et qu'elles conduisent les mêmes appareils comme la figure 34 l'indique pour le cas du montage en Y. Affectons les cou-

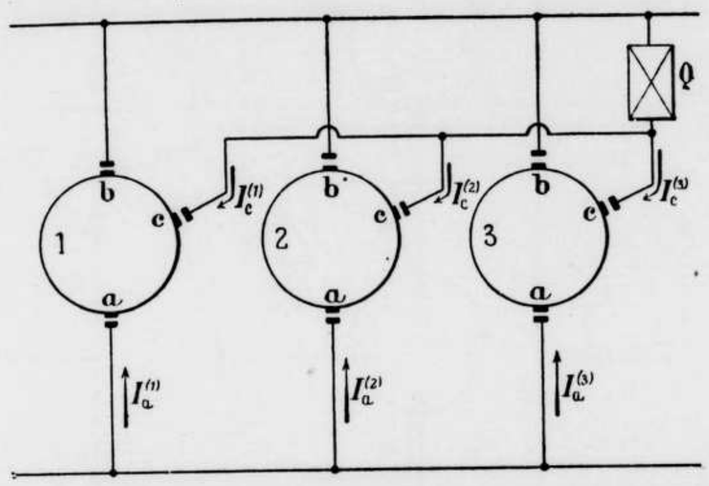


Fig. 34. — Schéma de montage d'un ensemble de trois métadynes en parallèle conduisant le ou les mêmes appareils.

rants et les constantes de construction de chaque métadyne d'un indice 1, 2, ... n, placé entre parenthèses et en haut ; soit V_{ab} la tension commune du réseau et V_{bc} la tension commune sous laquelle est alimenté l'appareil conduit unique Q.

Amettons que l'appareil conduit Q soit le siège d'une force électromotrice de la forme

$$-\Omega\,[K_1(I_a^{(1)}+I_a^{(2)}+\ldots+I_a^{(n)}+K_2(I_c^{(1)}+I_c^{(2)}+\ldots+I_c^{(n)})$$

$$+K_3\,V_{ab}+K_4\,V_{bc}+K_5\,(I_\rho^{(1)}+I_\rho^{(2)}+\ldots+I_\rho^{(n)})];$$

les équations du régime stationnaire seront alors

$$\left.\begin{aligned}
&V_{ab}=K^{(h)}g^2(\nu-1)\,N^{(h)}\,I^{(h)}+N^{(h)}\,\Lambda^{(h)}\,g\,[S_{\alpha 1}^{(h)}I_a^{(h)}\\
&\quad+S_{\alpha 2}^{(h)}I_c^{(h)}+S_{\alpha 3}^{(h)}V_{ab}+S_{\alpha 4}^{(h)}V_{bc}+S_{\alpha 5}^{(h)}I_\rho^{(h)}],\\
&V_{bc}=K^{(h)}g^2(\nu-1)\,N^{(h)}\,I_c^{(h)}-N^{(h)}\,\Lambda^{(h)}\,g(\nu-1)\\
&[S_{A1}^{(h)}I_a^{(h)}+S_{\alpha 2}^{(h)}I_c^{(h)}+S_{A3}^{(h)}V_{ab}+S_{A4}^{(h)}V_{bc}+S_{A5}^{(h)}I_\rho^{(h)}],\\
&V_{ab}I_a^{(h)}-V_{bc}I_c^{(h)}=0,\\
&V_{bc}+\Omega[K_1(I_a^{(1)}+\ldots+I_a^{(n)})+K_2(I_c^{(1)}+\ldots+I_c^{(n)})\\
&\quad+K_3V_{ab}+K_4V_{bc}+K_5(I_\rho^{(1)}+\ldots+I_\rho^{(n)})],
\end{aligned}\right\}\quad(29)$$

où $h=1,2,\ldots n$ et où nous avons posé

$$S_{\alpha,k}^{(h)}=S_{A,k}^{(h)}+(\nu-1)\,S_{c'k}^{(h)},$$

$$h=1,2\ldots n \quad\text{et}\quad k=1,2,\ldots 5.$$

Entre les $3n+1$ équations (29), éliminons les $3n$ variables suivantes

$$\left.\begin{aligned}
&I_a^{(1)},\ I_a^{(2)},\ \ldots\ I_a^{(h-1)},\ I_a^{(h+1)},\ \ldots\ I_a^{(n)},\\
&I_c^{(1)},\ I_c^{(2)},\ \ldots\ I_c^{(n)},\\
&I_\rho^{(1)},\ I_\rho^{(2)},\ \ldots\ I_\rho^{(n)},\\
&V_{bc},
\end{aligned}\right\}\quad(30)$$

et nous obtiendrons la relation suivante :

$$f\,(V_{ab},\ I_a^{(h)},\ p_\alpha^{(1)},\ p_\alpha^{(2)},\ \ldots\ p_\alpha^{(n)},\ p_\beta^{(1)},\ \ldots\ p_\rho^{(n)})=0,\quad(31)$$

de laquelle on tire immédiatement

$$\frac{\partial I_a^{(h)}}{\partial p_\beta^{(k)}}=-\frac{\dfrac{\partial f}{\partial p_\beta^{(k)}}}{\dfrac{\partial f}{\partial I_a^{(h)}}}.\quad(32)$$

On voit facilement que le premier membre de l'équation (31) est rationnel entier par rapport aux paramètres $p_\alpha^{(1)}$, ... $p_\beta^{(k)}$, ... $p_\rho^{(n)}$ et il en sera donc de même pour le numérateur et le dénominateur de la fraction (32).

Pour les points où le dénominateur s'annule tandis que le numérateur reste différent de zéro on aura des déséquilibrages du courant I_a très importants pour un faible défaut $dp_\beta^{(k)}$ et il est utile de s'arranger pour que ces points là soient complexes ou réels, mais en dehors de la zone des valeurs pratiquement atteintes.

Nous avons supposé que chaque métadyne avait sa régulatrice séparée et un arbre indépendant ; mais on pourrait rendre solidaires leurs arbres et prévoir une seule régulatrice ; dans ce cas d'un intérêt pratique, on aurait la même valeur N partout ainsi que la même valeur I_ρ et à la place des n équations

$$V_{ab}I_a^{(h)}-V_{bc}I_c^{(h)}=0,$$

où $h=1,2,\ldots n$, on aurait une seule équation

$$V_{ab}[I_a^{(1)}+I_a^{(2)}+\ldots+I_a^{(n)}]-V_{bc}[I_c^{(1)}+I_c^{(2)}+\ldots+I_c^{(n)}]=0.$$

3. ACCOUPLEMENT EN SÉRIE. — Soient plusieurs métadynes connectées en série chacune conduisant ses appareils propres, comme l'indique la figure 35, appareils supposés semblables, fonctionnant dans les mêmes conditions et sièges d'une force électromotrice de la

forme (24) ; les équations du régime stationnaire sont

$$\left.\begin{aligned}
V_{ab}^{(h)} &= K^{(h)} g^2 (\nu - 1) N^{(h)} I_c^{(h)} + N^{(h)} \Lambda^{(h)} g \,[S_{\alpha 1}^{(h)} I_a \\
&\quad + S_{\alpha 2}^{(h)} I_c^{(h)} + S_{\alpha 3}^{(h)} V_{ab}^{(h)} + S_{\alpha 4}^{(h)} V_{bc}^{(h)} + S_{\alpha 5}^{(h)} I_\rho^{(h)}], \\
V_{bc}^{(h)} &= K^{(h)} g^2 (\nu - 1) N^{(h)} I_a - N^{(h)} \Lambda^{(h)} g \,[S_{A1}^{(h)} I_a \\
&\quad + S_{A2}^{(h)} I_c^{(h)} + S_{A3}^{(h)} V_{ab}^{(h)} + S_{A4}^{(h)} V_{bc}^{(h)} + S_{A5}^{(h)} I_\rho^{(h)}](\nu - 1) \\
V_{ab}^{(h)} I_a &- V_{bc}^{(h)} I_c^{(h)} = 0, \\
V_{bc}^{(h)} &+ \Omega^{(h)} [K_1^{(h)} I_a + K_2^{(h)} I_c^{(h)} + K_3^{(h)} V_{ab}^{(h)} \\
&\quad + K_4^{(h)} V_{bc}^{(h)} + K_5^{(h)} I_\rho^{(h)}] = 0, \\
V_{ab}^{(1)} &+ V_{ab}^{(2)} + \dots + V_{ab}^{(n)} = V,
\end{aligned}\right\} \quad (33)$$

où $h = 1, 2, \dots n$ et V est la tension du réseau. Il y a lieu de noter que dans ces équations I_a est partout le même. Nous avons $4n + 1$ équations avec lesquelles nous éliminons les $4n$ variables suivantes

$$V_{ab}^{(1)}, V_{ab}^{(2)}, \dots V_{ab}^{(h-1)}, V_{ab}^{(h+1)}, \dots V_{ab}^{(n)};$$
$$I_c^{(1)}, I_c^{(2)}, \dots I_c^{(n)};$$
$$V_{bc}^{(1)}, V_{bc}^{(2)}, \dots V_{bc}^{(n)};$$
$$I_\rho^{(1)}, I_\rho^{(2)}, \dots I_\rho^{(n)};$$
$$I_a$$

et nous obtenons une équation entière envers tous ses arguments et paramètres

$$f(V, V_{ab}^{(h)}, p_\alpha^{(1)}, p_\alpha^{(2)}, \dots p_\rho^{(n)}) = 0, \quad (34)$$

de laquelle on tire

$$\frac{\partial V_{ab}^{(h)}}{\partial p_\beta^{(k)}} = - \frac{\dfrac{\partial f}{\partial p_\beta^{(k)}}}{\dfrac{\partial f}{\partial V_{ab}^{(h)}}}, \quad (35)$$

formule qui donne le déséquilibrage des tensions pour un défaut donné. Ce déséquilibrage est donc une fonction de la charge des métadynes ; le numérateur et le dénominateur de la fraction (35) sont entiers envers les paramètres $p_\alpha^{(1)}, p_\alpha^{(2)}, \dots p_\rho^{(n)}$ et, en particulier, envers les paramètres $\Omega^{(1)}, \dots \Omega^{(n)}$; il y a donc, en général, des points pour lesquels le défaut $dp_\beta^{(k)}$ n'a pas d'action sensiblement sur la répartition des tensions entre les différentes métadynes, ce sont les points pour lesquels le numérateur s'annule et le dénominateur reste différent de zéro et des points pour lesquels le défaut $dp_\beta^{(k)}$ provoque un déséquilibrage très important des tensions, ce sont les points pour lesquels le dénominateur s'annule tandis que le numérateur ne s'annule pas. Il est utile de faire en sorte que ces derniers points ne soient pas réels ou, s'ils le sont, qu'ils soient maintenus loin des points réels pratiquement atteints pendant le fonctionnement.

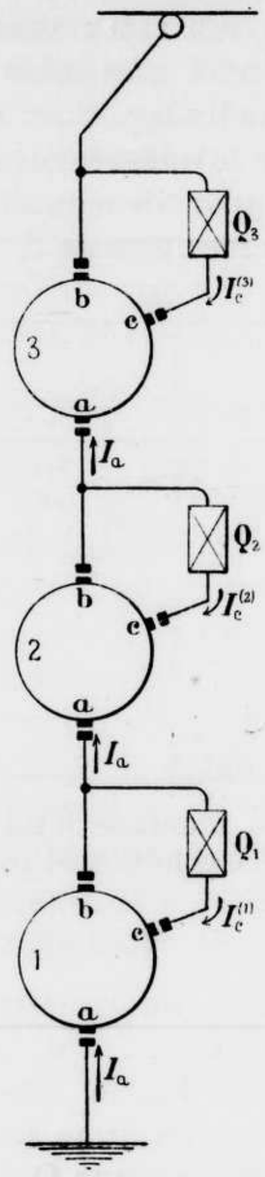


Fig. 35. — Schéma du montage d'un ensemble de trois métadynes en série conduisant chacune seule ou ensemble un ou plusieurs appareils.

Il y a lieu ici de faire la même remarque qu'à la fin du paragraphe précédent, au sujet d'une régulatrice unique pour toutes les métadynes qui alors auraient leurs arbres solidaires.

Au lieu de faire figurer dans le résultat de l'élimination l'argument $V_{ab}^{(h)}$ on peut faire figurer $V_{bc}^{(h)}$ ou $I_c^{(h)}$ ou encore $I_\rho^{(h)}$; le procédé de calcul reste le même.

Il est clair aussi qu'au lieu de prendre des métadynes semblables, on pourra prendre des métadynes quelconques.

La figure 36 indique trois métadynes montées « en huit » et connectées en série, chaque métadyne conduisant seule l'appareil correspondant.

Dans la figure 37 ce sont encore des métadynes en huit en série, mais dont les appareils conduits sont eux-mêmes en série, ce qui est impossible avec le montage en Y ou le montage en croix de la métadyne. Le calcul devient plus laborieux, mais le procédé ne change pas.

Nous avons examiné la connexion en parallèle et celle en série ; toute autre connexion peut toujours se ramener aux deux précédentes.

4. DE LA STABILITÉ DU FONCTIONNEMENT DES MÉTADYNES ACCOUPLÉES ENTRE ELLES. — Pour nous assurer de la stabilité des montages d'ensemble dont on a étudié le régime stationnaire dans les paragraphes précédents, nous considérons le régime transitoire correspondant aux mêmes schémas et nous avons vu dans la théorie du fonctionnement dynamique de la métadyne (1) qu'il suffit d'étudier les équations différentielles homogènes et rendre négatives toutes les parties réelles des exposants de la solution. Il est facile de reconnaître que les

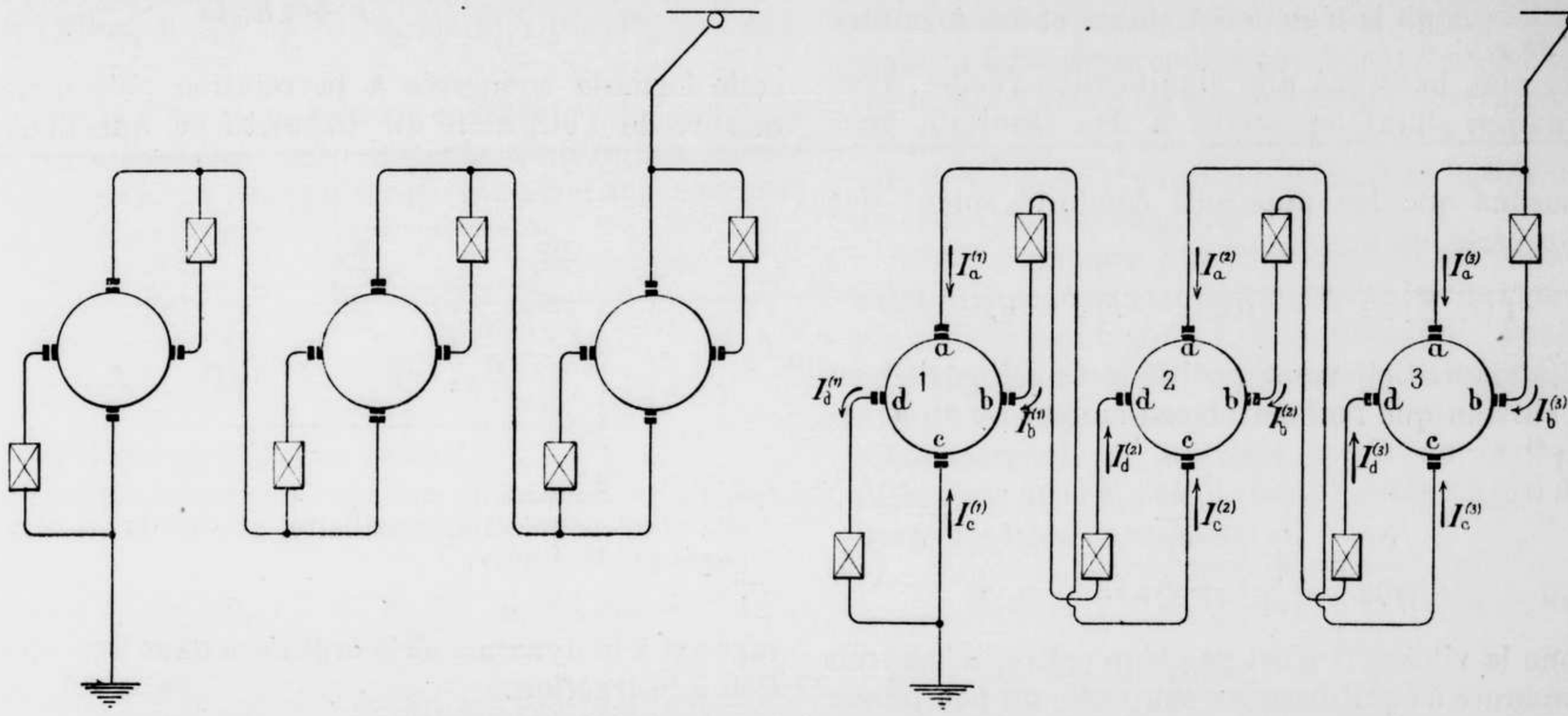


Fig. 36 et fig. 37. — Schémas de montage d'un ensemble de trois métadynes en série en Y ou en huit, conduisant chacune seule ou ensemble un ou plusieurs appareils.

équations différentielles homogènes relatives à chaque métadyne prise séparément se retrouvent encore, en général, quand on étudie la mise en parallèle ou la mise en série dont il a été question plus haut. Si donc l'on a assuré la stabilité de chaque métadyne prise séparément, on a, en général, assuré aussi la stabilité de l'ensemble de ces métadynes connectées en parallèle ou en série. Malgré cette constatation rassurante il ne faut jamais perdre de vue le régime transitoire, car si la stabilité n'était pas assurée, le régime stationnaire que l'on aurait étudié ne correspondrait plus au fonctionnement réel.

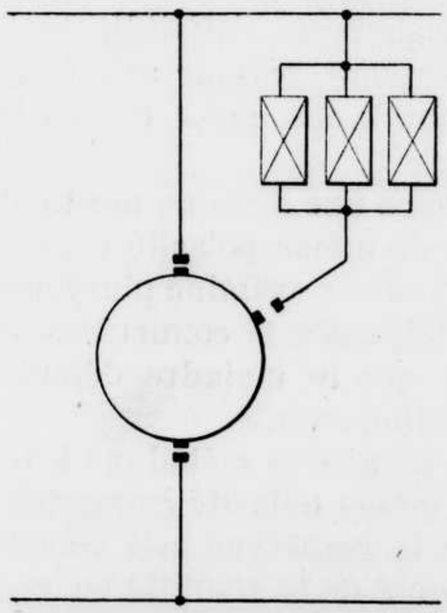


Fig. 38. — Schéma de montage d'une métadyne conduisant plusieurs appareils en parallèle.

5. EGALE RÉPARTITION DU COURANT DANS LES APPAREILS CONDUITS ACCOUPLÉS EN PARALLÈLE ENTRE EUX. — Il arrive souvent qu'une métadyne conduise plusieurs appareils connectés en parallèle entre eux comme l'indique la figure 38 ; il faut alors assurer l'équirépartition du courant entre les appareils conduits. On peut les considérer séparément comme soumis à la même tension V et appliquer les formules établies plus haut. Supposons que ces appareils conduits soient des dynamos à excitation indépendante ; soient I le courant d'induit, i le courant d'excitation et r la résistance de l'induit ; on a

$$f(I, V) \equiv V - K_{ab}\Omega i \pm rI = 0 ;$$

on aura le signe + pour la marche en générateur et le signe — pour la marche en moteur. Donc

$$\frac{\partial I}{\partial p_\beta} = - \frac{\dfrac{\partial f}{\partial p_\beta}}{\dfrac{\partial f}{\partial I}} = - \frac{\dfrac{\partial f}{\partial p_\beta}}{\pm r}.$$

et si l'on néglige la résistance r comme on l'a fait plus haut pour la métadyne, on a

$$\frac{\partial I}{\partial p_\beta} = - \frac{\dfrac{\partial f}{\partial p_\beta}}{0}$$

c'est-à-dire que le moindre défaut de construction ou la moindre dyssymétrie de fonctionnement apportera un fort déséquilibrage du courant.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 16 et 23 août 1930, t. XXVIII, p. 230-232.

L'équation différentielle homogène est

$$M_m \frac{dI}{dt} + rI = 0$$

et l'unique exposant de la solution est négatif, $\rho = -\frac{r}{M_m}$; donc le régime est stable et les formules données plus haut ont une signification réelle. Avec des dynamos shunt on arrive à des résultats analogues.

Supposons que les appareils conduits soient des dynamos série, on a

$$f(I, V) \equiv V - (K_m \Omega + r) I = 0,$$

où K_m est essentiellement positif et Ω est positif ou négatif suivant que l'on marche en moteur ou en générateur ;

$$\frac{\partial I}{\partial p_\beta} = + \frac{\frac{\partial f}{\partial p_\beta}}{r + K_m \Omega}. \qquad (36)$$

Si donc la vitesse Ω n'est pas trop petite, il y aurait forte tendance à équilibrer les courants, un peu mieux toutefois pour la marche en moteur que pour la marche en générateur, car, dans le premier cas, nous avons au dénominateur deux termes de même signe et dans le second cas, deux termes de signe contraire. L'équation différentielle homogène est

$$M_m \frac{dI}{dt} + (r + K_m \Omega) I = 0$$

et l'unique exposant de la solution est $\rho = -\frac{r + K_m \Omega}{M_m}$.

Par conséquent, il y a stabilité certaine pour la marche en moteur et instabilité pour la marche en générateur pour peu que la vitesse soit différente de zéro.

Donc les formules données plus haut pour le fonctionnement statique sont bien valables pour la marche en moteur, mais non pour la marche en générateur.

M. Guery a proposé (1) d'assurer la marche en générateur en mettant en parallèle les bobines principales d'excitation qui créent la force électromotrice dans le même sens que le courant et de munir chaque dynamo d'une bobine d'excitation supplémentaire parcourue par le courant de l'induit correspondant et créant une force électromotrice en sens contraire du courant, comme l'indique la figure 39. Pour comparer avec l'exemple précédent on devra obtenir, en définitive, la même force électromotrice résultante $K_m \Omega I_0$ où I_0 est le courant moyen des induits et on devra prévoir sur la bobine principale des spires supplémentaires pour compenser celles de la bobine supplémentaire. On pourra poser alors

$$f(I, V) \equiv V - (r + \sigma K_m \Omega) I + (1 + \sigma) K_m \Omega I_0 = 0,$$

où σ est le rapport des spires de la bobine supplémentaire aux spires de la bobine de la dynamo série ordinaire. Donc

$$\frac{\partial I}{\partial p_\beta} = - \frac{\frac{\partial f}{\partial p_\beta}}{r + \sigma K_m \Omega}; \qquad (37)$$

cette formule comparée à la relation (36) donne la mesure de l'efficacité du dispositif en question, par rapport à la dynamo série ordinaire dans son application à la traction.

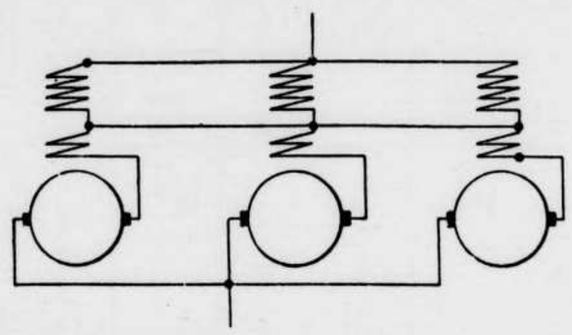


Fig. 39. — Schéma de montage de dynamos série en parallèle avec enroulement auxiliaire, suivant la solution proposée par M. Guéry.

6. De la métadyne a plus d'un cycle. — Jusqu'ici on a toujours supposé que la métadyne avait un seul cycle ; dans ce paragraphe nous relevons quelques propriétés des métadynes à plusieurs cycles. Nous avons ici des circuits électriques qui non seulement sont mis en parallèle par les connexions électriques, mais qui sont aussi liés entre eux par les circuits magnétiques successifs ; les formules que nous avons développées au commencement de ce chapitre ne suffisent donc plus. Si toutefois on considère des balais de même polarité de plus en plus éloignés les uns des autres, on voit que leur liaison magnétique s'affaiblit rapidement et l'on peut, par conséquent, revenir aux formules données ; dans ce qui suit nous nous contenterons de cette approximation.

Prenons d'abord une dynamo multipolaire ordinaire avec les balais de même polarité connectés en parallèle. On revient au cas examiné plus haut des dynamos à excitation indépendante connectées en parallèle et nous avons vu que le moindre défaut engendre des déséquilibrages importants.

Considérons ensuite la métadyne à plusieurs cycles et à balais de même polarité connectés en parallèle. Supposons que la métadyne soit montée en Y. Assurons-nous d'abord de la stabilité en régime variable ; ici le nombre d'équations différentielles est, en général, très grand et leur résolution devient très difficile ou même impossible. Dans ces cas, nous modifions le schéma de manière à substituer aux équations différentielles de simples relations algébriques et à réduire ainsi suffisamment le nombre des équations différentielles qui reste pour que le calcul devienne sûr. Nous adoptons pour cela, par exemple, plus d'un enroulement rotorique avec des collecteurs séparés ; ou bien des

(1) *Brevet français N° 558 205*, déposé le 2 novembre 1922.

groupements particuliers pour les appareils conduits, ou encore des connexions équipotentielles.

Soit la métadyne montée en Y. Pour le régime stationnaire nous avons pour le courant I_c

$$f(V, I, p_\alpha, p_\beta) \equiv NKg^2(\nu - 1) I_c + g\Lambda N [S_{\alpha 1} I_c^{(0)} + S_{\alpha 2} I_c^{(0)} + S_{\alpha 3} V_{ab} + S_{\alpha 4} V_{bc} + S_{\alpha 5} I_\rho] - V_{ab}, \quad (38)$$

où $I_a^{(0)}$ et $I_c^{(0)}$ sont les valeurs constantes des courants qui traversent les enroulements statoriques admis indépendants du déséquilibrage éventuel des courants dans l'induit. Donc

$$\frac{\partial I_c}{\partial p_\beta} = - \frac{\frac{\partial f}{\partial p_\beta}}{NKg^2(\nu - 1)}. \quad (39)$$

Pour le courant I_a nous avons

$$f(V, I, p_\alpha, p_\beta \ldots p_\beta) \equiv NKg^2(\nu - 1) I_a - g\Lambda N(\nu - 1) [S_{A1} I_a^{(0)} + S_{A2} I_c^{(0)} + S_{A3} V_{ab} + S_{A4} V_{bc} + S_{A5} I_\rho] - V_{bc}, \quad (40)$$

d'où

$$\frac{\partial I_a}{\partial p_\beta} = - \frac{\frac{\partial f}{\partial p_\beta}}{NKg^2(\nu - 1)}. \quad (41)$$

Or, comme la valeur numérique de $Nkg^2(\nu - 1)$ est très grande, les formules (39) et (41) s'interprètent ainsi : les circuits en parallèle de l'induit de la métadyne à plusieurs cycles montée en Y ont une importante tendance à assurer une répartition uniforme du courant entre eux malgré les défauts de construction, et ceci, quelle que que soit la charge.

On retrouve cette précieuse propriété dans de nombreux montages de la métadyne et c'est sur elle qu'est basé le procédé dont nous allons parler.

7. Egale répartition du courant entre plusieurs appareils conduits moyennant une métadyne polycycle : seizième mode de réalisation. — Si la métadyne doit conduire n jeux d'appareils conduits connectés en parallèle, on peut assurer, en général, l'équirépartition des courants dans les appareils conduits, en adoptant une métadyne à n cycles et en ne connectant en parallèle ni les balais, ni les bornes correspondantes aux appareils conduits, mais en faisant parcourir par le courant de chacun de ces balais d'abord les enroulements statoriques correspondants et ceci de manière qu'ils agissent surtout sur la zone de l'induit avoisinant ce balai et ensuite un seul appareil conduit.

Ainsi, à chaque appareil conduit correspondra un balai distinct ou un jeu distinct de balais de la métadyne. Prenons le montage en Y de la métadyne. Tout d'abord on s'assure de la stabilité en régime variable. On aboutit ensuite aux équations du régime stationnaire établies conformément au seizième mode de réalisation en admettant que l'appareil conduit est le siège d'une force électromotrice de la forme

$$-\Omega [K_1 I_a + K_2 I_c + K_3 V_{ab} + K_4 V_{bc} + K_5 I_\rho].$$

Elles sont les suivantes

$$\left.\begin{aligned} V_{ab} &= NKg^2(\nu - 1) I_c + N\Lambda g [S_{\alpha 1} I_a + S_{\alpha 2} I_c + S_{\alpha 3} V_{ab} + S_{\alpha 4} V_{bc} + S_{\alpha 5} I_\rho], \\ V_{bc} &= NKg^2(\nu - 1) I_a - N\Lambda g [S_{A1} I_a + S_{A2} I_c + S_{A3} V_{ab} + S_{A4} V_{bc} + S_{A5}^2 I_\rho](\nu - 1), \\ V_{bc} &+ \Omega[K_1 I_a + K_2 I_c + K_3 V_{ab} + K_4 V_{bc} + K_5 I_\rho] = 0. \end{aligned}\right\} \quad (42)$$

Nous avons omis l'équation de la régulatrice parce qu'elle est inutile ici ; car le courant I_ρ dépend de l'ensemble des courants I_a et I_c, mais il est indépendant du déséquilibre éventuel des courants de même sens et dans ce cas I_ρ doit être considéré comme un simple paramètre.

Eliminons les variables V_{bc} et I_a entre les trois équations linéaires (42) et nous avons, après division par N^2

$$f(V, I, p_\alpha, \ldots p_\beta) \equiv \begin{vmatrix} \Lambda g S_{\alpha 4} & \Lambda g S_{\alpha 1} & [\Lambda g S_{\alpha 2} + Kg^2(\nu - 1)] I_c + [\Lambda g S_{\alpha 3} - 1] V_{ab} + \Lambda g S_{\alpha 5} I \\ 1 + \Lambda g(\nu - 1) S_{A4} & \Lambda g(\nu - 1) S_{A1} - Kg^2(\nu - 1) & \Lambda g S_{A2}(\nu - I) I_c + (\nu - 1)\Lambda g S_{A3} V_{ab} + (\nu - 1)\Lambda g S_{A5} I_\rho \\ 1 + \Omega K_4 & \Omega K_1 & \Omega K_2 I_c + \Omega K_3 V_{ab} + \Omega K_5 I_\rho \end{vmatrix} = 0,$$

d'où l'on tire

$$\frac{\partial I_c}{\partial p_\beta} = - \frac{\frac{\partial f}{\partial p_\beta}}{\begin{vmatrix} \Lambda g S_{\alpha 4} & \Lambda g S_{\alpha 1} & \Lambda g S_{\alpha 2} + Kg^2(\nu - 1) \\ 1 + \Lambda g(\nu - 1) S_{A4} & \Lambda g(\nu - 1) S_{A1} - Kg^2(\nu - 1) & \Lambda g S_{A2}(\nu - 1) \\ 1 + \Omega K_4 & \Omega K_1 & \Omega K_2 \end{vmatrix}} \quad (43)$$

formule qui démontre l'efficacité du procédé, car le déterminant qui figure au dénominateur est, en général, différent de zéro et d'une valeur numérique élevée. On trouve une formule analogue pour les nombreux montages de la métadyne.

8. Egale répartition du courant entre plusieurs appareils conduits moyennant une modulatrice distributrice. — Dans ce paragraphe il est question d'un autre procédé destiné à assurer une répartition déterminée du courant entre plusieurs appareils par un réglage convenable de leur

excitation ; ces appareils peuvent être des métadynes quelconques et le rapport des courants à fixer arbitrairement peut être quelconque, mais pour simplifier l'exposé nous considérons l'application particulière de ce procédé à des dynamos identiques devant se répartir le courant d'une façon uniforme.

Dix-septième mode de réalisation. — On peut assurer une répartition uniforme des courants entre n dynamos identiques devant fonctionner sous des conditions semblables en alimentant l'excitation de chacune d'elles par une modulatrice correspondante dont un des enroulements statoriques est parcouru par le courant I d'induit de la dynamo correspondante et crée une force électromotrice dans l'induit de la modulatrice tendant toujours à réduire ce courant I. Il y a n modulatrices qui forment un ensemble que nous appelons modulatrice distributrice, ou plus brièvement distributrice toutes les fois qu'il ne peut pas y avoir confusion.

Ce procédé est particulièrement avantageux quand une métadyne à un seul cycle doit conduire plusieurs dynamos en parallèle entre elles.

9. La métadyne forme écran contre les accidents des appareils conduits. — Il arrive souvent que, quand une métadyne conduit plus d'un appareil, ces appareils étant connectés à des balais différents de la métadyne, ils se trouvent tous sous des différences de potentiel égales

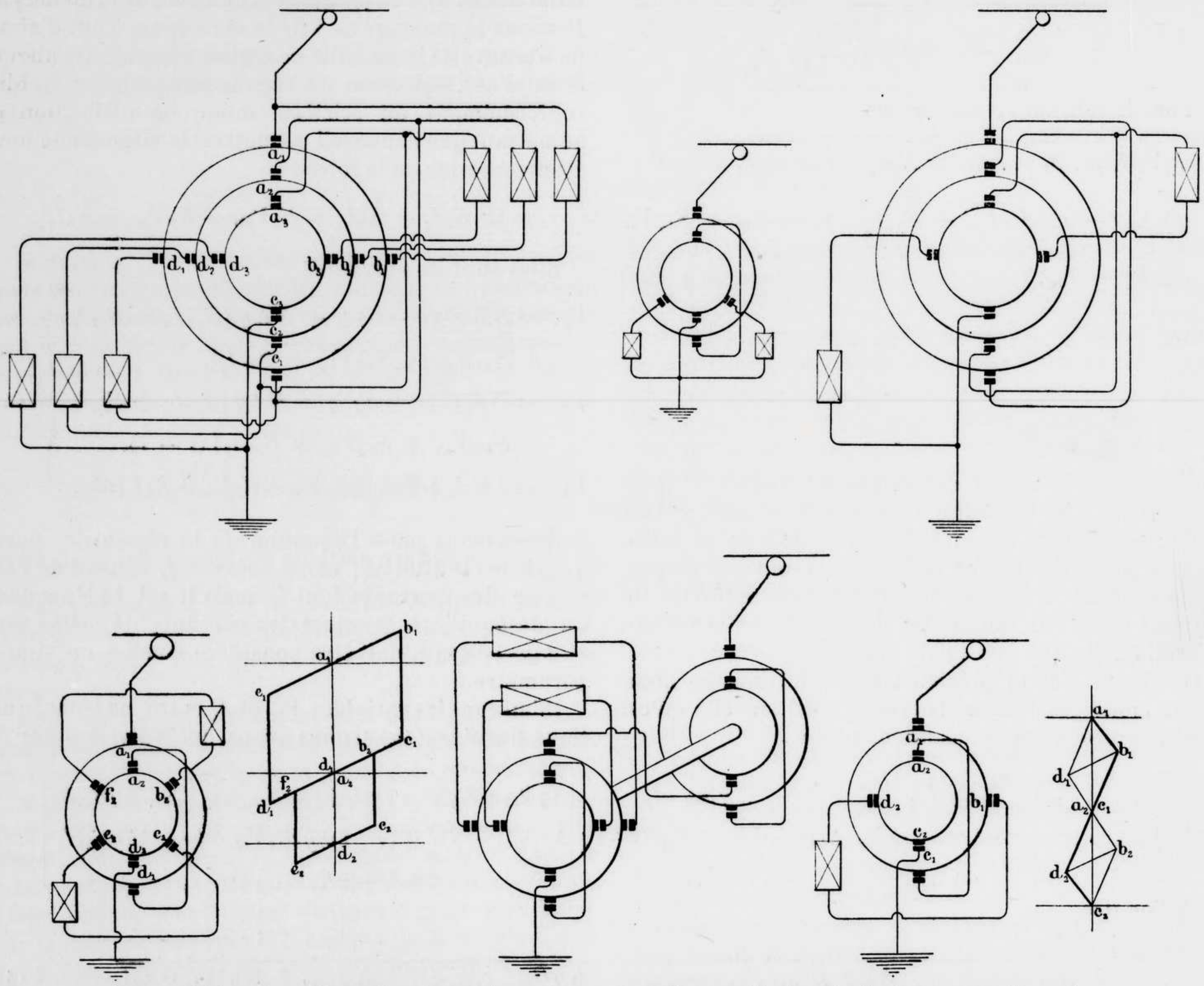


Fig. 40 à fig. 45. — Exemples de schémas de montage d'une métadyne à plusieurs enroulements ou à plusieurs éléments sur le même rotor, suivant des combinaisons diverses.

pour chaque point de fonctionnement. Le fonctionnement normal de ces appareils conduits est donc le même que si ces derniers étaient connectés en parallèle sur un seul réseau. Mais les phénomènes sont radicalement différents quand il y a une perturbation, telle que, par exemple, un court-circuit sur l'un d'eux. En effet, si ces appareils conduits étaient alors connectés en parallèle sur un seul réseau cet accident pourrait avoir des conséquences graves, en particulier si ces appareils conduits fonctionnent en générateurs. Si, au contraire, ils sont conduits par la métadyne, toute conséquence dangereuse est, en général, évitée, car le point de fonction-

nement glisse sur la caractéristique fondamentale de la métadyne et représente, le plus souvent, un fonctionnement admissible. La mise en court-circuit d'un appareil conduit ou la coupure de son circuit réduisent le montage primitif de la métadyne à un autre qu'il faudrait examiner si l'on veut prévoir les conséquences de l'accident relatif.

Nous avons vu plus haut que la métadyne a un effet d'écran contre les accidents entre le réseau et les appareils conduits. On peut donc ajouter que la métadyne a un effet d'écran encore contre les accidents entre les différents appareils conduits, en ce sens qu'elle réduit l'accident à un phénomène non dangereux pour l'appareil conduit avarié et surtout ne permet pas la répercussion fâcheuse de l'accident sur les appareils conduits demeurés indemnes.

10. Combinaisons particulières des métadynes connectées en série. — Quand on doit admettre la mise en série de plusieurs métadynes, la disposition de plusieurs enroulements induits sur le même rotor, mais avec des collecteurs distincts, présente des avantages notables en ce qui concerne le poids et l'encombrement ainsi que la répartition des tensions. La figure 40 donne le schéma d'une métadyne dont le rotor comporte trois enroulements en série entre eux et dont chacun est monté en huit, avec deux appareils conduits pour chacun des montages en huit.

La mise en série de plusieurs métadynes se fait surtout quand la tension du réseau est grande. Il se peut qu'on demande alors que les appareils conduits restent sous une tension modérée; le montage en trident constitue une première solution de ce problème. Mais, en général, on peut alors mettre en série plusieurs métadynes distinctes dont seule la plus proche de la terre soit connectée aux appareils conduits; on pourra ici aussi employer divers enroulements induits sur le même rotor à la place des métadynes distinctes. Les figures 41, 42 et 43 en donnent trois exemples, où les éléments de métadyne qui sont à un potentiel élevé sont à deux balais seulement et seul l'élément de métadyne connecté à la terre conduit les appareils avec le montage en trident pour la figure 41, le montage en huit pour la figure 42 et le montage en croix de Lorraine pour la figure 43. On pourra utilement prendre pour l'élément à potentiel élevé un nombre de conducteurs par encoche plus grand que pour l'élément de métadyne connecté à la terre et conduisant les appareils conduits, ce dernier élément devant être parcouru par un courant efficace en général plus intense que le premier. On a alors le diagramme vectoriel représenté à droite de la figure 43.

La figure 44 donne un exemple de schéma où une métadyne à deux éléments sur le même rotor avec un montage en croix pour chaque élément est connectée en série avec une dynamo ordinaire à deux collecteurs en série, les deux rotors étant mécaniquement accouplés.

La figure 45 donne un exemple de schéma où une métadyne à rotor unique mais à deux éléments avec trois balais chacun, gouverne un seul appareil conduit.

(*A suivre*). J.-M. Pestarini.

Revues, analyses et informations

La théorie dynamique des machines à courant alternatif et le problème de la stabilité des systèmes de transmission d'énergie électrique [1].

1. Généralités. — Le problème de la stabilité des systèmes formés par des alternateurs et des moteurs à courant alternatif est d'une telle difficulté que le fonctionnement de tels systèmes en présence de perturbations ne peut être prévu mathématiquement. Le but de l'article qui nous occupe est de discuter le rôle que les méthodes dynamiques sont nécessairement appelées à jouer dans une mise en équations exacte de la solution du problème et, en particulier, d'exposer la théorie dynamique élémentaire du moteur à courant alternatif.

De nombreux phénomènes touchant au fonctionnement des machines à courant alternatif ont été analysés sans que l'on ait eu recours à quelque fonction énergétique de base. Parmi eux, on peut mentionner le phénomène d'oscillations d'alternateurs couplés en parallèle, traité initialement par Kapp, Görges et autres, et plus généralement par Hopkinson et Sommerfeld, et le phénomène de régulation instable des systèmes simples, traité par Föppl. D'autres auteurs ont, apparemment sans exception, évité une mise en équations de la théorie des machines électriques rotatives basée sur des considérations dynamiques. Cette façon de procéder devient néanmoins nécessaire, aussitôt que la signification de certaines hypothèses simplificatrices, qui sont toujours faites, explicitement ou implicitement, est en question. Par exemple, on trouve que l'hypothèse d'une répartition sinusoïdale du flux dans l'entrefer d'un moteur ou d'un générateur s'applique à une quantité de mouvement infinie associée à la coordonnée de champ électrique. Comme les flux de fuites sont, dans la plupart des machines à courant alternatif, plutôt petits par rapport au flux utilisable, il semblerait plutôt surprenant que des désaccords entre la théorie et l'expérience aient jamais été notés, si ce n'est pour expliquer que dans ce domaine on n'a jamais réalisé une corrélation importante entre la théorie et l'expérience, en raison de la très grande complexité des phénomènes envisagés et de la grossièreté des méthodes destinées à les mesurer. Des méthodes de mesure plus précises sont données dans le présent article.

2. Applications de la méthode dynamique. — Le domaine d'application et la généralité de la méthode dynamique ne

[1] W.-H. Ingram. *Journal of the Franklin Institute*, t. ccx, septembre 1930, p. 327-343, 4000 mots.

sont limités que par l'exactitude des fonctions spécifiques (énergie, dissipation et activité) et cette exactitude n'est elle-même limitée que par la restriction que les grandeurs physiques spécifiques μ et ε sont constantes. On conçoit que de telles fonctions pourraient décrire un mécanisme à petite échelle d'une façon intégrée et statique pour tenir compte de l'hystérésis, en tant que phénomène ayant son origine dans l'étirement, discontinu dans le temps, de cristaux de fer à l'intérieur de pâtes amorphes et visqueuses. Ces phénomènes (hystérésis et constantes spécifiques variables) peuvent être pour le moment laissés de côté, pour être repris dans les développements théoriques ultérieurs.

Un problème typique de stabilité est le suivant : étant donné, dans le cas le plus simple, un générateur et un moteur à courant alternatif connectés ensemble et en régime permanent, la brusque introduction d'un autre appareil en parallèle avec le moteur rompra-t-elle l'équilibre et même éventuellement pourra-t-elle arrêter le moteur? Une réponse peut être donnée si l'on sait que le couple en régime permanent du moteur ne peut exister dans le nouveau système ; mais si, au contraire, un tel couple du moteur existe, nous ne pouvons dire que ce mouvement se produira nécessairement jusqu'à ce que nous ayons décidé si le mouvement final du moteur sera un mouvement de rotation, étant donné les mouvements, courants, etc., initiaux du nouveau système.

Nous disposerions d'un critérium idéal de stabilité si nous connaissions l'équation de la surface à n dimensions des valeurs critiques initiales, dans l'espace à $n + 1$ dimensions, de n coordonnées généralisées décrivant la configuration du système et de la coordonnée de temps ; mais la théorie mathématique actuelle se montre ici insuffisante, et nous sommes obligés d'avoir recours à la réponse pratique suivante: si, après un certain temps, le couple est assez voisin de celui donné par la solution de régime stationnaire du problème et si, pour des temps plus longs, l'approximation est meilleure, on pourra en déduire avec certitude la persistance du mouvement de rotation. Si l'on trouve que le mouvement de rotation persiste quel que soit l'instant de la nouvelle connexion, on dira que le nouveau système est stable pour la connexion en question. Le mouvement définitif peut dépendre de l'instant auquel la connexion est faite, auquel cas on peut parler de quasi stabilité du système vis-à-vis de la connexion envisagée. Dans les autres cas, le système est dit complètement instable vis-à-vis de cette connexion.

Le mouvement du système sera décrit à tout instant par des équations différentielles, qui sont obtenues à partir de certaines fonctions spécifiques au moyen des formules de Lagrange ou d'Hamilton.

Les mouvements en régime permanent sont déduits de ces équations et fournissent les valeurs initiales des variables du système d'équations différentielles définissant le mouvement du nouveau système résultant de l'établissement de la connexion. La suite des états du nouveau système, après ce temps, ne peut être déduite de ces valeurs initiales que par une méthode de résolution numérique des systèmes d'équations différentielles. Une telle méthode, quelque peu similaire à celle de Runge, a été développée récemment par J. Ballantini jusqu'à un point où il apparaît que la plus grande partie du travail nécessaire pourrait être faite au moyen de machines à calculer du type Marchand. On peut donc espérer, dans un proche avenir, disposer d'une méthode pratique pour l'étude numérique des systèmes formés d'alternateurs et de moteurs et de leur appareillage. — L. B.

Le dénombrement photographique des particules α (1).

1. Méthodes employées. — Pour le dénombrement direct des particules α isolées, la méthode bien connue des scintillations s'est jusqu'à présent montrée seule utilisable. Les diverses méthodes proposées pour le dénombrement électrique souffrent toutes du grave inconvénient que l'opération ne peut, dans ce cas, être effectuée en présence de rayons γ. La méthode photographique semble à première vue très séduisante et un grand nombre de travaux ont été déjà exécutés sur ce sujet. Kinoshita, notamment, a trouvé, en 1910, que, quand des particules α sont dirigées normalement à la plaque photographique, la relation entre le noircissement et le nombre de particules α est représentée par une courbe passant par l'origine : résultat important, puisqu'il prouve que l'effet photographique des particules α n'est pas cumulatif. On a trouvé ultérieurement qu'il y a proportionnalité entre le noircissement et le nombre de particules α, lorsque le noircissement est petit.

En dépit de ces résultats, la méthode photographique de dénombrement ne semble avoir jamais été employée pour un travail quantitatif. La méthode semble à première vue pleine de promesses, en partie parce qu'elle permettrait de compter un nombre de particules α bien supérieur à celui que permet le dénombrement par la méthode des scintillations, et en partie parce que le résultat d'une expérience est conservé, ce qui permet de répéter, s'il y a lieu, le dénombrement.

2. Expériences de l'auteur. — Dans les expériences rapportées dans le mémoire qui nous occupe, l'auteur a employé concurremment la méthode photographique et la méthode des scintillations avec le même appareil et dans des conditions presque identiques. Les particules α sont envoyées à travers une feuille de mica dans une chambre évacuée placée entre les deux pièces polaires d'un électroaimant. A l'autre extrémité de la chambre, on peut fixer un écran de sulfure de zinc, ou un porte-plaques. Le porte-plaques est mobile, ce qui permet de faire quatre poses voisines sur la même plaque, sans laisser rentrer l'air dans l'appareil.

3. Conclusions. — Des expériences ainsi exécutées, l'auteur conclut que le dénombrement photographique, basé sur la proportionnalité entre le noircissement et le nombre de particules α, ne présente pas de réelles difficultés, dans le domaine où cette proportionnalité subsiste. Le principal inconvénient est le voile observé sur les plaques, ce qui limite sérieusement l'emploi de la méthode. Une autre limitation sérieuse réside dans le fait que l'effet photographique cesse quand la vitesse des particules α tombe au-dessous d'une certaine limite.

Avec l'arrangement expérimental employé, toute action des rayons β se trouvait éliminée, puisque les rayons devaient parcourir environ 15 cm dans un champ magnétique d'environ 5 000 gauss avant d'atteindre la plaque. Quant à l'action des rayons γ, elle semble être excessivement petite. — L. B.

(1) J.-C. Jacobsen. *The philosophical Magazine*, septembre 1930, t. x (7e série), p. 413-416, 1 500 mots, 1 figure.

SECTION INDUSTRIELLE

Le développement des réseaux de distribution d'énergie électrique et les dangers de la foudre

Traitant de l'influence possible qu'exercent les lignes aériennes de transmission d'énergie électrique sur la naissance des orages et du danger que présente la foudre pour les personnes et les objets au voisinage d'un réseau de distribution, M. Boutaric rend compte, dans l'article qui suit, des opinions émises sur ces questions par un certain nombre d'auteurs, après avoir montré l'intérêt que présentent pour cette étude les statistiques relevées dans divers observatoires sur la fréquence et l'intensité des orages. Dans la dernière partie de l'article sont résumés les résultats des observations de M. Dauzère qui ont fait l'objet, en particulier, de deux notes à l'Académie des Sciences et d'une conférence à Toulouse sous le patronage de la Société française des Electriciens. Il semble résulter de toutes ces observations que la présence de lignes électriques n'augmente ni la fréquence ni l'intensité des orages, lesquels sont provoqués en certaines zones bien définies qui se caractérisent par une plus grande conductibilité de l'air. Cette conclusion peut être d'un grand intérêt lors du tracé d'une ligne électrique, car des mesures peuvent être prises pour éviter les zones reconnues dangereuses. En ce qui concerne la protection contre les dangers de la foudre, ce problème se rattache à celui des surtensions qui n'est qu'effleuré au cours de l'article.

I. **Introduction.** — Au moment où par le développement des réseaux de distribution on peut envisager un emploi rationnel des forces naturelles du pays pour les besoins sans cesse croissants de l'industrie et de l'agriculture, on conçoit combien il pouvait être intéressant d'étudier scientifiquement les relations possibles entre la foudre et les réseaux de distribution d'énergie électrique. C'est ce qu'a fait notamment la Société météorologique de France qui, au cours de l'année 1929, a pris l'initiative d'une discussion sur ce sujet entre météorologistes et techniciens. Elle avait posé à ses membres les deux questions suivantes : 1° Le réseau de distribution attire-t-il la foudre ? 2° En cas d'orage doit-on couper le courant dans le réseau ?

Des documents qui ont été produits au cours de cette discussion (1) ainsi que de quelques autres publications, je me suis proposé d'extraire ce qui m'a paru le plus intéressant concernant nos connaissances actuelles sur les relations possibles entre la foudre et les lignes de distribution d'énergie électrique.

II. **Le réseau de distribution augmente-t-il le nombre et l'intensité des orages ?** — On peut envisager de deux points de vue la question de savoir si le réseau de distribution attire ou non la foudre :

1° Comparer les observations dont on peut disposer sur la fréquence des orages après ou avant l'électrification ;

2° Examiner du point de vue théorique ce qu'on peut prévoir rationnellement concernant cette influence.

(1) Ces documents ont été groupés dans *La Météorologie*, juillet-septembre 1929, nos 52 à 54 (nouvelle série), p. 317-394.

1. Résultats d'observation. — 1° *Statistiques générales concernant l'ensemble de la France.* — La contribution la plus intéressante à la question de savoir ce qu'indique l'observation en ce qui concerne l'influence de l'électrification sur la fréquence et l'intensité des coups de foudre a été apportée par le général Delcambre. Le savant directeur de l'Office national météorologique a fait rechercher dans les Annales du Bureau central météorologique et dans les publications de l'Office national météorologique les statistiques concernant la foudre depuis de nombreuses années. Comme l'électrification rurale n'a commencé qu'il y a vingt ou trente ans et s'est surtout développée au cours de la dernière décade, on conçoit que l'examen statistique puisse fournir une réponse impartiale à la question posée. Le tableau I donne les nombres moyens annuels d'orages relatifs à chacune des périodes de cinq ans entre 1879 et 1928, pour un certain nombre de stations où les observations des orages ont été relevées avec le maximum de sécurité et de continuité (1).

Ce tableau met en évidence le caractère fortement orageux de la période 1909-1913 dans les six stations du nord, du centre et de l'ouest de la France, suivie d'une diminution croissante et très sensible des orages pendant les deux périodes suivantes : 1914-1918, 1919-1923 et enfin un mouvement incertain de décroissance

(1) Comme jour d'orage on a compté toute journée commençant à 0 heure pour finir à minuit, pendant laquelle on a entendu le tonnerre ; on n'a tenu compte ni des journées où l'on a noté seulement des éclairs, phénomène fréquent et presque quotidien pendant la saison chaude dans les régions boisées, ni de celles que l'observateur aurait qualifiées d'orageuses sans avoir noté de tonnerre.

TABLEAU I. — *Fréquence moyenne des orages par période de cinq ans. Nombre moyen d'orages, en jours par an.*

PÉRIODE / Stations :	1879 à 1883	1884 à 1888	1889 à 1893	1894 à 1898	1899 à 1903	1904 à 1908	1909 à 1913	1914 à 1918	1919 à 1923	1924 à 1928
Parc Saint-Maur.....	26,4	28,2	29,6	28,2	25,2	25,0	30,6	25,6	15,4	22,8
Charleville.....		19,4	20,8	18,2	25,0	24,2	29,4		16,8	15,8
Nantes.....		13,8	14,2	12,0	17,8	15,0	20,4	16,6	10,6	11,6
Besançon.....	(8,6)	(8,4)	25,8	29,0	34,0	37,6	42,2	36,4	31,6	42,2
Bordeaux.....					28,0	27,4	37,4	35,0	21,6	22,6
Clermont-Ferrand	36,2	29,6	29,6	26,0	24,0	25,2	31,8	29,0	22,8	17,4
Marseille.....	28,6	21,0	12,2	16,4	18,2	19,6	19,0	21,4	12,4	20,8
Nice.....			32,0	34,6	32,6	29,8	30,2	31,8	21,4	21,0
Perpignan.....		26,8	22,4	23,0	24,8	27,0	24,8	28,6	19,6	19,4
Moyenne de l'ensemble des stations.....		(23,1)	23,3	23,4	25,5	25,6	29,5	28,1	19,1	21,5

continue, de stabilisation ou même d'augmentation pour les nombres de la dernière période 1924-1928; cependant, le relèvement du nombre moyen annuel de jours d'orages n'est sensible que pour Paris, Besançon et Marseille.

En calculant la moyenne générale du nombre total des jours d'orages pour l'ensemble des stations au cours de chacune des périodes de cinq années qui ont été considérées, on peut suivre la variation du nombre moyen d'orages en France pendant les cinquante dernières années. Cette moyenne est indiquée sur la dernière ligne du tableau I. Elle accuse un maximum très net pour la période 1909-1913, puis le nombre moyen d'orages décroît jusqu'à la période 1919-1923, enfin il croît légèrement au cours de la dernière période envisagée, 1924-1928.

Comme il y a eu une extension accélérée des réseaux de distribution pendant les cinq dernières années, on pourrait songer à lui attribuer la faible recrudescence dans le nombre des orages relevée au cours de cette période. Cependant il importe de remarquer que cette recrudescence qui est en moyenne de 2,4 jours est faible et que le nombre moyen des jours d'orage (21,5) relatif à cette période reste très inférieur au nombre des journées orageuses de la période 1909-1913 (soit 29,5 jours). Ainsi la grande extension des réseaux d'électrification au cours de la période 1924-1928 n'a été accompagnée que d'une faible recrudescence des journées orageuses et le nombre moyen correspondant de jours d'orage reste encore très inférieur à celui qu'a fourni la période 1909-1913 pendant laquelle les réseaux de distribution étaient beaucoup moins nombreux et moins importants.

2° *Observations relatives à quelques régions déterminées.* — Après cette comparaison des données statistiques relatives à l'ensemble de la France, nous indiquerons les conclusions auxquelles sont parvenus divers observateurs en des points isolés du territoire.

M. Bidault de l'Isle, directeur de l'Observatoire de La Guette (Yonne), a noté depuis plusieurs années le nombre des orages se produisant dans l'Avallonnais. Cette région a été électrifiée en 1928. Le courant du réseau à haute tension (20000 v) qui transmet l'énergie par Rouvray (Côte-d'Or) dans le sud de l'arrondissement d'Avallon, comme celui du réseau à 25000 v qui la transmet dans le nord de l'arrondissement par Montbard, est transformé sur place d'abord en courant à moyenne tension (5 à 10000 v), puis en courant d'utilisation à 220 v. La première agglomération desservie fut la ville d'Avallon (6500 habitants) en septembre 1927. Puis peu à peu les 86 communes du Syndicat d'Electrification de l'Avallonnais furent desservies. La commune de l'Isle-sur-Serein, à laquelle appartient l'Observatoire de La Guette, le fut le 24 décembre 1927. Le réseau entier est actuellement en service et a fonctionné régulièrement durant tout l'été 1928.

Or, voici le nombre des orages qui ont été notés à La Guette depuis 1920 :

1920.....	Orages observés	37
1921.....	Id.	29
1922.....	Id.	34
1923.....	Id.	30
1924.....	Id.	31
1925.....	Id.	30
1926.....	Id.	35
1927.....	Id.	38
1928 (11 mois).....	Id.	35

Pendant les neuf années d'observations le nombre total des orages a été de 299, ce qui correspond à une moyenne de 33,3 par an.

« Si, conclut M. Bidault de Lisle, l'installation et la mise en service du réseau d'électrification avaient réellement une influence quelconque sur le régime orageux du pays, d'une part, et sur la violence des orages, d'autre part, le nombre de 35 orages relevé en 1928, qui est très voisin de la moyenne normale, aurait dû être bien plus élevé. »

Et le même auteur ajoute : « D'une rapide enquête à laquelle je me suis livré, notamment à la Commission météorologique de l'Yonne, il ne semble pas que, dans des contrées différentes géologiquement du département de l'Yonne, on ait observé une recrudescence

d'orages depuis l'installation des réseaux électriques. Il semble donc bien que la mise en service des réseaux d'électrification est sans influence sur le nombre d'orages dans une région. »

M. Mengel, directeur de l'Observatoire de Perpignan, partage la même opinion fondée sur les résultats d'observations dans la région où il se trouve. « Dans les Pyrénées-Orientales, écrit-il notamment, où, depuis plus de vingt ans, existent des réseaux d'électrification très étendus, soit pour la traction électrique, soit pour la transmission de l'énergie, les orages ne sont pas plus fréquents qu'autrefois. Ils évoluent et suivent toujours les chemins que leur commande la résultante des effets de l'état général de l'atmosphère et du relief topographique. Il semblerait même que depuis quelques années, sous l'action d'un changement dans l'évolution de ces facteurs, nous sommes dans une période de moindre fréquence d'orages. Je me garderai bien d'attribuer ce fait au développement des réseaux d'électricité, jouant alors le rôle de niagaras électriques. »

M. l'abbé Moreux, directeur de l'Observatoire de Bourges, qui a étudié depuis de nombreuses années la direction des orages dans le Cher et en a donné la marche suivant qu'ils abordent telle ou telle région, est tout aussi affirmatif. Depuis l'installation du réseau à haute tension qui sillonne le département et notamment depuis l'établissement de la ligne qui, à partir du barrage d'Eguzon, fournit le courant à la ligne Paris-Vierzon de la Compagnie du Chemin de Fer de Paris à Orléans (1), il n'a constaté aucune différence dans l'allure des orages. A n'en pas douter, indique-t-il, ceux-ci suivent les cours d'eau et les vallées et ne sont pas détournés de leur chemin par les lignes de distribution d'énergie électrique.

M. Raymond, météorologiste à Antibes, indique également que, depuis l'extension considérable du nombre des habitations dans la ville et ses environs, qui a amené la construction de nombreux pylônes et l'établissement d'un réseau serré de fils conducteurs couvrant la surface du sol à une certaine hauteur, il n'a constaté aucun accroissement des coups de foudre. On dirait, ajoute-t-il, que cette diffusion des fils métalliques aériens agit plutôt comme une véritable cage de Faraday.

3° *Description d'un orage dont la marche semble avoir été guidée par une ligne électrique.* — Cependant, pour être impartial, nous devons rapporter une observation, d'ailleurs isolée, qui pourrait faire croire qu'une ligne électrique peut n'être pas sans influence sinon sur la production d'un orage, du moins sur la direction qu'il suit.

Violle, qui s'était toujours beaucoup intéressé de son vivant aux phénomènes électriques de l'atmosphère, avait rapporté dans l'Annuaire de la Société météorologique, année 1908, un orage de grêle observé par son confrère Fagniez, membre de l'Institut, qui s'était produit en Vaucluse dans des conditions particulièrement intéressantes. « L'orage, écrivait Fagniez, a sévi sur une longueur de 14 km environ et sur une largeur approximative de 2 km. Or, on a remarqué que sa direction a correspondu à celle d'une ligne de transmission d'énergie électrique qui fonctionne depuis moins d'un an et où le courant triphasé circule sous une tension atteignant 45 000 v. Le tracé de cette ligne est assez sinueux, parce qu'il n'a pu être établi qu'avec l'autorisation des propriétaires. Il est à peu près parallèle à une chaîne de montagnes de 1 000 m à 1 100 m de hauteur, nommée le Lubéron qui, jusqu'à présent, passait pour attirer la grêle. La ligne elle-même est à une altitude comprise, pour la région, entre 200 m et 400 m. Elle est distante du Lubéron de 3 km à 5 km vers le sud. De cette chaîne partent un certain nombre de vallées assez étroites que la ligne coupe perpendiculairement en gravissant les coteaux qui les limitent. On a observé que l'orage de grêle rencontrant, à son début, une de ces vallées qui le conduisait vers le Lubéron, terme habituel des orages, s'y est d'abord engagé, puis a franchi l'enceinte de cette vallée, sur un point où elle s'abaisse, pour reprendre le parcours de la ligne électrique qu'il n'avait d'ailleurs pas complètement quitté et le suivre dès lors dans tous ses détours jusqu'à la fin de sa durée. Il a donc commencé exactement sur la ligne et y est définitivement revenu.

» Les dégâts les plus importants se sont produits dans le voisinage immédiat de la ligne pour décroître à mesure qu'on s'en éloignait à droite et à gauche et cesser à 800 m ou 1 000 m de chaque côté. Au centre de la zone frappée, dans le tracé, et suivant les contours des câbles électriques, la grêle est tombée sans pluie pendant près d'un quart d'heure, tandis que, des deux côtés, elle était accompagnée d'eau. Dans la région, les orages viennent généralement dans un sens opposé à celui que le dernier a suivi et sans amener de grêle.

» Les observations précédentes donnent à penser que, par suite de l'action du courant, l'orage a pu être attiré ou dirigé d'une certaine façon. »

Commentant la description de cet orage donnée par son confrère, Violle concluait : « La question soulevée par Fagniez est double : 1° la ligne électrique a-t-elle attiré l'orage ? 2° l'a-t-elle conduit ? Le deuxième point semble mis hors de doute. Sur le premier, on ne saurait guère qu'émettre des conjectures. Si, en effet, l'usage des lignes télégraphiques a montré depuis longtemps que des conducteurs aériens peuvent amener l'électricité des orages jusqu'aux appareils mêmes, les lignes qui transmettent l'énergie à haute tension et dont l'emploi ne remonte qu'à quelques années n'ont pas été, que je sache, plus particulièrement touchées par la foudre. »

2. Considérations théoriques. — Nous savons peu de chose sur les diverses manifestations de la foudre et moins encore sur les causes qui l'engendrent et celles

(1) A. Curchod ; L'usine hydroélectrique d'Eguzon et la ligne de transmission d'énergie d'Eguzon à Paris. *Revue générale de l'Electricité*, 22 et 29 janvier 1930, t. XXI, p. 129-141 et 173-190.

qui en favorisent ou en dirigent la chute. On conçoit donc que les diverses considérations théoriques qu'on peut émettre concernant les relations possibles entre la foudre et les réseaux d'électrification puissent manquer de précision. Certaines d'entre elles n'en sont pas moins très intéressantes à connaître par les réflexions d'ordre pratique qu'elles sont susceptibles de suggérer.

D'après M. J. Courtil, ingénieur électricien E. T. P., le réseau de conducteurs isolés forme avec le nuage orageux, d'une part, et avec la terre, d'autre part, deux condensateurs en cascade, le condensateur entre réseau et terre étant chargé sous une tension qui n'est qu'une fraction très faible de celle qui existe entre nuage et terre. Aussi ne conçoit-on pas que la présence du réseau puisse influer sur la fréquence et l'intensité des décharges qui se produisent entre le nuage et la terre et constituent la foudre.

On pourrait penser que le champ électrique extrêmement puissant qu'une ligne à haute tension crée autour d'elle est susceptible d'accroître la conductibilité de l'air et, par suite, favoriser l'établissement de la décharge électrique qui constitue la foudre. En réalité, comme le champ décroît très vite à partir de la ligne, une ligne à haute tension pourrait tout au plus être assimilée à un tube conducteur de quelques mètres de diamètre, ce qui ne semble pas suffisant pour expliquer une attirance spéciale de la foudre. « En effet, les importantes nappes téléphoniques, fait remarquer M. Lardry, professeur au lycée du Mans, constituent réellement un énorme tube conducteur élevé au-dessus du sol et les voies ferrées doubles ou quadruples, bordées de part et d'autre de 200 fils téléphoniques et télégraphiques, ne constituent-elles pas une excellente métallisation du sol? Or, personne jusqu'à présent n'a entendu dire que les riverains des voies ferrées étaient plus particulièrement visités par la foudre que ceux qui sont loin de tout conducteur aérien. »

M. de Nerville, professeur à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées, apporte des arguments identiques à ceux de M. Lardry pour soutenir que les réseaux de distribution formés de conducteurs très voisins du sol ne sauraient avoir sur la distribution du potentiel électrique dans l'atmosphère qu'une influence très étroitement limitée en étendue et en hauteur, incapable de produire de grands déplacements des nuées orageuses et, par suite, d'avoir aucune influence sur l'intensité ou la fréquence des orages. Et il ajoute : « Il y a lieu d'ailleurs de remarquer que, depuis très longtemps déjà, des réseaux de conducteurs métalliques autrement serrés que ceux qui alimentent les campagnes en énergie électrique (réseaux aériens téléphoniques, télégraphiques, d'éclairage, de tramways, etc.) se sont multipliés dans la plupart des villes et des banlieues, et je ne crois pas qu'on ait eu à enregistrer, dans aucune de ces villes, un accroissement de la fréquence ou de l'intensité des orages depuis leur installation. »

Cependant, M. de Nerville n'est pas loin de penser qu'en cas d'orage la présence de conducteurs électriques puisse rendre plus probable et, par suite, plus fréquente la chute de décharges électriques dans la région parcourue par les conducteurs. « Cette question, indique-t-il, est analogue à celle qui a été bien souvent posée à propos du rôle des paratonnerres d'édifices. Un paratonnerre provoque-t-il la chute de la foudre? Il est évident que, dans certaines conditions de tension électrique de l'atmosphère et d'ionisation de l'air, la présence d'un conducteur de grandes dimensions, paratonnerre ou câble électrique, peut provoquer ou faciliter une décharge de foudre. On doit toutefois remarquer que les conducteurs industriels sont isolés du sol et que leur isolement est d'autant plus parfait que la tension de service est plus élevée. Ils ne réalisent donc pas au point de vue d'une décharge de foudre les conditions de facilité apportées par un bon paratonnerre. On peut même admettre qu'une ligne à très haute tension, toutes choses égales d'ailleurs, est moins exposée à un coup de foudre direct qu'une ligne à très basse tension assez médiocrement isolée du sol. Cependant, la présence d'une masse métallique isolée ou non, à peu de distance du sol, est toujours susceptible d'offrir un but ou une étape à décharge électrique.

» Les circonstances qui provoquent l'apparition et le trajet de l'étincelle sont susceptibles de varier. Il est bien probable que les éclairs du premier type de O. Lodge, ceux qui ont eu le temps de préparer leur trajet, trouvent un point d'appui d'élection sur un conducteur de ligne électrique. Au lieu de frapper un arbre, une maison ou directement le sol, s'ils rencontrent à leur portée un câble métallique, ils le choisiront de préférence; au contraire, les éclairs du deuxième type, à propagation très brusque, ne subissent pas la même influence et doivent frapper n'importe où comme si le conducteur n'existait pas. »

Cependant Violle, à la suite de la description d'un orage de grêle que nous avons reproduite plus haut, incline à penser que les champs intenses qu'une ligne à haute tension développe dans son voisinage pourraient n'être pas sans influence sur la formation de la grêle ou la chute de la foudre : « Entre le nuage et la ligne s'établit un champ électrique essentiellement variable, signalé par des effluves puissants. Et l'on conçoit qu'en un tel champ puissent se produire des actions à longue distance comme des changements de potentiel capables de produire des chutes de grêle. »

En résumé, la quasi-unanimité des techniciens qui ont pris part à la discussion ouverte sous les auspices de la Société météorologique de France pensent que les lignes à haute tension ne sauraient augmenter la fréquence des orages et leur intensité et, par suite, qu'il n'y a aucune raison d'admettre que le développement des réseaux de distribution puisse constituer un danger pour les régions où ils sont établis.

III. **Le réseau de distribution constitue-t-il un danger pour les usagers en cas d'orage?** — S'il résulte des faits et des considérations théoriques qui précèdent que les lignes de distribution d'énergie élec

trique n'attirent pas la foudre, il n'est pas douteux qu'elles puissent la transmettre, qu'il s'agisse de coups de foudre directs ou de courants d'induction. Dans ces conditions, on peut se demander de quelle nature est le danger encouru par les usagers et quelles précautions on peut leur conseiller pour s'en préserver.

M. Lardry, professeur au lycée du Mans, ne croit pas que les coups de foudre directs puissent constituer un danger bien sérieux pour les usagers. Si le coup de foudre reçu par les lignes à haute tension se produit à proximité de l'usine ou d'un poste de transformation, il démolit généralement quelque chose et passe dans le sol; mais si le coup de foudre se produit en pleine campagne, les deux ondes inverses déterminées dans la ligne s'amortissent très vite et, rencontrant un parafoudre, elles s'écoulent dans le sol sans dommage. En revanche, il pense que les effets d'induction sont très fréquents et très dangereux, comme le montre la curieuse expérience qu'il a faite un jour d'orage au moyen d'une antenne de télégraphie sans fil. Ayant intercalé un éclateur entre une antenne de 180 m de longueur et la prise de terre, il constata à chaque éclair la production d'une étincelle entre les deux boules de l'éclateur; la distance explosive égale à 1 mm, lorsque l'orage était éloigné, alla en croissant, au fur et à mesure que l'orage s'approchait, jusqu'à 2 cm. M. Lardry ayant augmenté de plus en plus cette distance vit se produire une étincelle énorme de 0,50 m environ entre le fil d'antenne et un autre fil voisin en communication avec la terre, étincelle accompagnée d'un bruit formidable : « La foudre, indique l'auteur, n'était pas tombée, mais avait provoqué dans le fil isolé une surtension très amortie et le fil vibrant en demi-onde à sa fréquence naturelle avait créé un ventre de potentiel à l'extrémité isolée », d'où l'étincelle constatée. Et l'auteur ajoute : « Les décharges entre nuages peuvent donc provoquer des surtensions formidables dans les nappes téléphoniques et dans les lignes aériennes de transmission d'énergie de grande longueur. Si ces surtensions se produisent en pleines lignes, elles s'amortissent peu à peu et, rencontrant les parafoudres, s'écoulent sans accident, car la résonance sur de très longues lignes est peu à craindre. Mais si elles se produisent à peu de distance d'un bout de la ligne, par exemple au départ de l'usine ou d'une dérivation de quelques centaines de mètres sur un transformateur, la surtension est énorme et la plupart du temps les dispositifs de protection se montrent inefficaces, alors les disjoncteurs et même les transformateurs flambent. »

Il peut même arriver, lorsque le transformateur est atteint, qu'il se manifeste une brève mais dangereuse surtension sur le circuit à basse tension avec perforation entre fils dans les canalisations intérieures. Mais, comme le fait remarquer judicieusement l'auteur, ces accidents restent localisés dans les lignes ou les postes de transformation et, par suite, regardent exclusivement l'exploitant et non l'usager. Quant aux surtensions susceptibles de pénétrer chez l'usager, on peut l'en protéger efficacement soit par des condensateurs, soit par d'excellents parafoudres à gaz.

Un très grand nombre de techniciens sont d'avis qu'une ligne de distribution d'énergie électrique ne constitue pas un danger par temps d'orage si elle est bien construite, mais qu'il peut ne plus en être ainsi dans le cas contraire.

M. Dauzère, dans une étude très complète qu'il a faite sur la chute de la foudre en relation avec les lignes électriques et sur laquelle nous reviendrons plus loin, est nettement d'avis que, si une ligne électrique n'attire pas la foudre, elle la distribue sur tout son parcours. D'un grand nombre de faits d'observation qu'il a relevés dans la région des Pyrénées, il résulte que beaucoup de coups de foudre survenus dans cette région n'ont eu de conséquence grave que parce qu'ils ont été propagés par une ligne électrique. Il a été amené à classer en trois catégories les accidents observés :

1° La ligne électrique est frappée directement par la foudre, qui en provoque généralement la rupture au point atteint. Dans les deux tronçons ainsi brusquement séparés, des ondes de surtension prennent naissance et sont transmises par la ligne jusqu'aux appareils d'utilisation situés dans les maisons où elles peuvent occasionner des accidents très graves;

2° Au moment de l'orage, la ligne, qui constitue un conducteur placé dans un champ électrique intense, s'électrise par influence électrostatique. Si un éclair se produit dans le voisinage, le champ est détruit brusquement et la ligne se décharge tout aussi brusquement en donnant naissance à des ondes mobiles qui se propagent de part et d'autre de la région influencée. Les accidents qui en résultent sont de beaucoup les plus fréquents; ils peuvent se produire à des distances assez grandes des éclairs; ils sont d'autant plus graves que les éclairs éclatent plus près de la ligne. Si le coup de foudre se produit à proximité immédiate de la ligne, l'induction électromagnétique se superpose à l'influence électrostatique, augmentant ainsi l'énergie mise en jeu et l'intensité des effets produits;

3° Lorsque la foudre tombe sur un transformateur, il arrive souvent qu'une communication s'établisse entre le primaire et le secondaire et que le courant à haute tension soit ainsi dérivé dans le circuit d'utilisation à basse tension qui devient une cause permanente de graves dangers tant que le courant à haute tension n'est pas coupé.

Dans les exemples de coups de foudre qu'il a étudiés, M. Dauzère a eu l'occasion de constater que les accidents graves étaient beaucoup plus fréquents lorsque la foudre frappait les lignes à basse tension que lorsqu'elle atteignait une ligne à haute tension. Ceci doit être attribué, d'après lui, à la construction plus soignée des lignes à haute tension et à leur meilleur isolement. Il serait à craindre, pense M. Dauzère, que l'électrification des campagnes multipliât les dangers des coups de foudre si des mesures de protection rigoureuses n'étaient pas prescrites, telles que celles prescrivant

l'emploi d'un fil de terre, la mise à la terre du point neutre, l'emploi de parafoudres, etc.

M. de Nerville, après avoir également mentionné le danger tenant à ce que les conducteurs d'un réseau d'énergie électrique sont exposés à recevoir des coups de foudre directs et à drainer par induction les ondes électriques atmosphériques à fréquence plus ou moins élevée qui, pendant les orages, accompagnent les coups de foudre, insiste sur un autre danger, indirect, mais peut-être d'après lui, encore plus grave. Ce danger se présente lorsque la foudre frappant la ligne dans le voisinage d'un transformateur rompt les isolants et établit un court-circuit durable entre les deux circuits. Dès lors l'installation à basse tension desservie par le transformateur peut se trouver en liaison avec la haute tension, ce qui a été fréquemment constaté. Les dangers très réels de ces sortes d'accidents peuvent d'ailleurs être combattus.

A ce propos se pose la question de l'efficacité des dispositions envisagées pour réduire l'importance de ces dangers, telles que l'emploi de parafoudres, la mise à la terre du neutre des réseaux triphasés, etc., question à laquelle il est difficile de donner une solution définitive pouvant s'appliquer en toute sécurité à tous les cas ; le nombre des éléments à considérer la rend trop complexe pour que ce problème puisse être traité en quelques lignes.

IV. **Examen des conditions déterminant la position des lieux fréquemment atteints par la foudre.** — Comme nous le rappelions plus haut, M. Dauzère a fait une étude approfondie des conditions susceptibles de déterminer la position des lieux fréquemment atteints par la foudre (1), qui l'a amené à quelques conclusions pratiques intéressantes.

1. Théorie des orages. — Un orage est produit par le mouvement ascensionnel très rapide d'une colonne d'air chaud et humide dans une atmosphère plus froide, la vitesse du courant d'air vertical ascendant dépassant souvent 8 m : s. Il est accompagné de phénomènes électriques intenses, dus à ce qu'un champ électrique considérable prend naissance entre la base du nuage et le sol. En plaine, ce champ peut atteindre, par temps d'orage, des valeurs de plusieurs centaines de mille volts par mètre, alors qu'en temps serein, il ne dépasse guère une centaine de volts par mètre.

Dans l'air existent toujours des ions électrisés des deux signes. Les uns sont formés par des molécules gazeuses d'oxygène ou d'azote ayant perdu un ou plusieurs électrons d'électricité négative et se comportent par suite comme des corps primitivement neutres auxquels on aurait enlevé de l'électricité négative : ils constituent les ions positifs ; les autres proviennent de molécules gazeuses primitivement neutres, sur lesquelles se fixent un ou plusieurs des électrons ainsi libérés : ils constituent les ions négatifs. Ces ions, qui jouent un rôle fondamental dans la formation de la pluie, fonctionnent en même temps que les poussières comme noyau de condensation pour la vapeur d'eau et chacun d'eux devient le centre d'une goutte d'eau qui porte, bien entendu, la charge de l'ion.

La foudre est une décharge électrique se produisant entre deux nuages électrisés de signe contraire, ou entre la base inférieure d'un nuage et le sol.

Or, dans toute décharge, les ions préexistants aussi bien que ceux créés par la décharge elle-même se déplacent, les ions positifs se mouvant dans le sens du champ, c'est-à-dire vers les potentiels décroissants, et les ions négatifs en sens inverse. Comme la plupart des nuages orageux ont leur partie inférieure électrisée positivement, le champ électrique est dirigé du nuage vers le sol et, lorsque la foudre éclate, elle met en jeu un transport d'ions négatifs du sol vers le nuage et d'ions positifs du nuage vers le sol.

Si donc il existe sur le sol une région où des ions négatifs sont émis en abondance, il semble naturel d'admettre à priori, suivant l'hypothèse qui a servi de guide à M. Dauzère, que le chemin ionisé suivi par la foudre y aboutira de préférence et que la région considérée sera plus particulièrement exposée à recevoir les décharges orageuses.

2. Les lieux souvent foudroyés. — Un collaborateur de M. Dauzère à l'Observatoire du Pic-du-Midi, M. Bouget, a poursuivi pendant une trentaine d'années une enquête sur les points de chute de la foudre, notant chaque fois le lieu de l'accident et ses circonstances. Il a été amené à reconnaître que la foudre ne tombe pas au hasard, mais qu'elle a une prédilection marquée pour certains lieux.

C'est une opinion courante que les lieux élevés sont plus particulièrement exposés aux atteintes de la foudre. M. Bouget a constaté qu'il en est bien ainsi dans une contrée dont la constitution géologique est à peu près uniforme, mais qu'il en va tout autrement dans une région montagneuse, où les roches et les terrains les plus différents sont rapprochés ou mêlés sur des superficies restreintes. Il résulte de l'enquête de M. Bouget :

1° Que les points de chute les plus souvent atteints par la foudre ne sont pas toujours des points particulièrement élevés : ils sont souvent situés au voisinage des sources, dans les fonds des vallons, ou dans les cols ;

2° Que la situation des lieux fréquemment foudroyés

(1) C. Dauzère et J. Bouget ; Influence de la constitution géologique du sol sur les points de chute de la foudre. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 4 juin 1928, t. CLXXXVI, p. 1 565-1 566 et *Revue générale de l'Electricité*, 7 juillet 1928, t. XXIV. p. 27-28. — Sur l'ionisation intense de l'air dans les lieux fréquemment foudroyés. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 18 juin 1928, t. CLXXXVI, p. 1 744-1 746 et *Revue générale de l'Electricité*, 15 septembre 1928, t. XXIV, p. 399-400.

C. Dauzère ; Recherches sur la foudre dans les Pyrénées. *Comptes rendus du Congrès des Sociétés savantes*, 1925. — Recherches sur les orages. *La Météorologie*, avril-juin 1928. — La foudre et les lignes électriques. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, juin 1929, t. IX (4e série), p. 575-598.

dépend avant tout de la constitution géologique du sol. Les calcaires compacts ne sont presque jamais frappés par la foudre, tandis que les schistes ardoisés, les granits, les ophites le sont souvent;

3° Que les lieux les plus exposés sont situés sur les lignes de contact de deux terrains géologiques différents. On s'explique ainsi la prédilection de la foudre pour les vallons, les sources, les cols, qui constituent le plus souvent des zones de transition entre des roches de natures différentes.

La figure 1 reproduit la coupe géologique de la région de Labassère, voisine de Bagnères-de-Bigorre, avec indication des points frappés par la foudre. Cette région

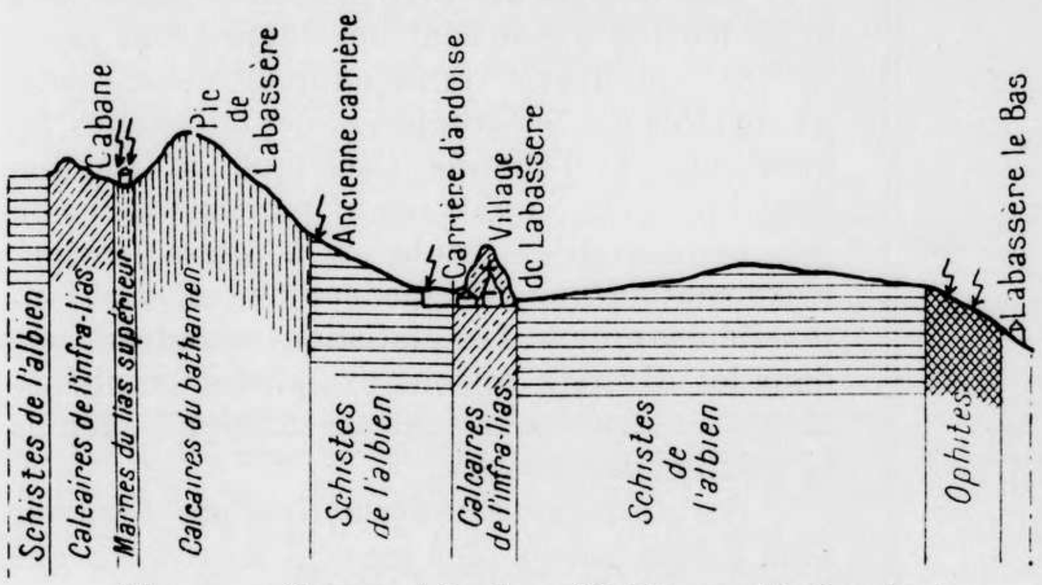


Fig. 1. — Coupe géologique (établie par M. Dauzère) de la région de Labassère (Hautes-Pyrénées).

comprend des schistes exploités en certains points comme carrières d'ardoises, des calcaires, des ophites, des marnes, appartenant à divers étages géologiques. Les calcaires qui forment les sommets les plus élevés ne sont jamais atteints. Les points foudroyés se trouvent sur les ophites ou les schistes. Le lieu le plus dangereux, où cinq hommes furent tués par la foudre dans une cabane, est situé daus un petit col, tout près du sommet, non atteint par la foudre, du Pic-de-Labassère, c'est-à-dire, comme le montre la coupe, sur une ligne de contact entre terrains différents,

On pourrait penser que l'influence exercée par la nature des terrains tient à leur conductibilité électrique : un sol bon conducteur subissant mieux que les autres l'influence électrostatique du nuage orageux, il en résulterait une augmentation notable du champ électrique qui règne, au-dessus de lui, entre la base du nuage et la terre. S'il en était ainsi, un sol bon conducteur devrait être frappé de préférence. Or, M. Dauzère et son collaborateur ayant mesuré le champ électrique en un grand nombre de lieux aux environs de Bagnères ont constaté que l'intensité du champ a toujours les valeurs les plus grandes sur les sommets des montagnes, quelle que soit la nature des roches qui les forment : les lieux foudroyés ne jouissent à cet égard d'aucun privilège. Par contre, les sommets des montagnes où le champ électrique est très intense sont loin d'être particulièrement atteints par la foudre; c'est plutôt l'inverse qui a lieu.

M. Dauzère a pensé que les différences constatées en diverses régions pouvaient tenir à la conductibilité électrique non plus du sol, mais du chemin que suit la foudre dans l'air. Pour vérifier cette conception, il a mesuré la conductibilité électrique de l'air en un grand nombre de points.

La conductibilité électrique que présente l'air sous l'influence du transport des charges électriques par les ions renseigne sur son degré d'ionisation : on peut la mesurer en observant la vitesse avec laquelle se décharge un électroscope relié à un cylindre conducteur soigneusement isolé. Si le cylindre est électrisé positivement, il se décharge sous l'influence des ions négatifs qui, attirés par lui, viennent à son contact et neutralisent ainsi une partie de sa charge; s'il est électrisé négativement, il se décharge sous l'influence des ions positifs.

Les mesures faites à une station où la foudre ne tombe jamais (Bagnères-de-Bigorre) ont montré que, par temps serein, les nombres d'ions observés oscillent peu autour d'une valeur moyenne, les nombres d'ions positifs et négatifs étant sensiblement les mêmes. L'approche et le début d'un orage sont caractérisés le plus souvent par une augmentation du nombre total d'ions positifs et négatifs par centimètre cube d'air, avec prédominance des ions négatifs.

Les mesures faites en divers endroits fréquemment foudroyés indiquent : 1° que le nombre total d'ions par centimètre cube est relativement grand; 2° que les ions négatifs sont d'ordinaire plus nombreux que les ions positifs. Les conditions qui caractérisent l'approche d'un orage sont ainsi réalisées en permanence dans les lieux fréquemment foudroyés.

M. Dauzère a essayé de vérifier les conclusions de la théorie basée sur les observations précédentes en étudiant les lieux récemment foudroyés dans le sud-ouest de la France. Parmi les quelques constatations enregistrées (1) nous mentionnerons la destruction par la foudre, le 17 avril 1928, de l'usine électrique de Saint-Georges (Aude) qui se trouve au pied d'une falaise de calcaire urgo-aptien, sur la ligne de contact de ce calcaire avec le schiste albien; un coup de foudre qui provoqua, au milieu de la rampe de Capvern (Hautes-Pyrénées), la rupture des feeders de la ligne de traction de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, le 12 juin 1927; la coïncidence du lieu foudroyé avec une ligne de contact de deux terrains est particulièrement frappante; le point foudroyé se trouve exactement à l'intersection de la ligne du chemin de fer et du contour d'une petite enclave des marnes grises du sénonien (crétacé supérieur), au milieu des argiles miocènes à cailloux roulés du plateau de Lannemezan. A noter aussi un coup de foudre, le 1er mars 1924, sur le village de Le Cuing près de Montréjeau (Haute-Garonne); toute cette région, qui est un lieu de prédilection marqué pour la foudre, est rattachée au miocène; l'argile à cailloux

(1) C. Dauzère. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, loc. cit.

roulés y est très apparente. D'une façon générale, la carte de la figure 2 montre la répartition des coups de foudre sur la voie ferrée électrifiée de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, de Toulouse à Bayonne. Sur cette carte, où l'on a indiqué par des croix la position des points de chute de la foudre dans la section de Saint-Gaudens à Orthez, on voit que les accidents se groupent autour de trois régions : les environs de la gare d'Artix, les environs de Lourdes, le plateau de Lannemezan et ses environs. Les accidents les plus

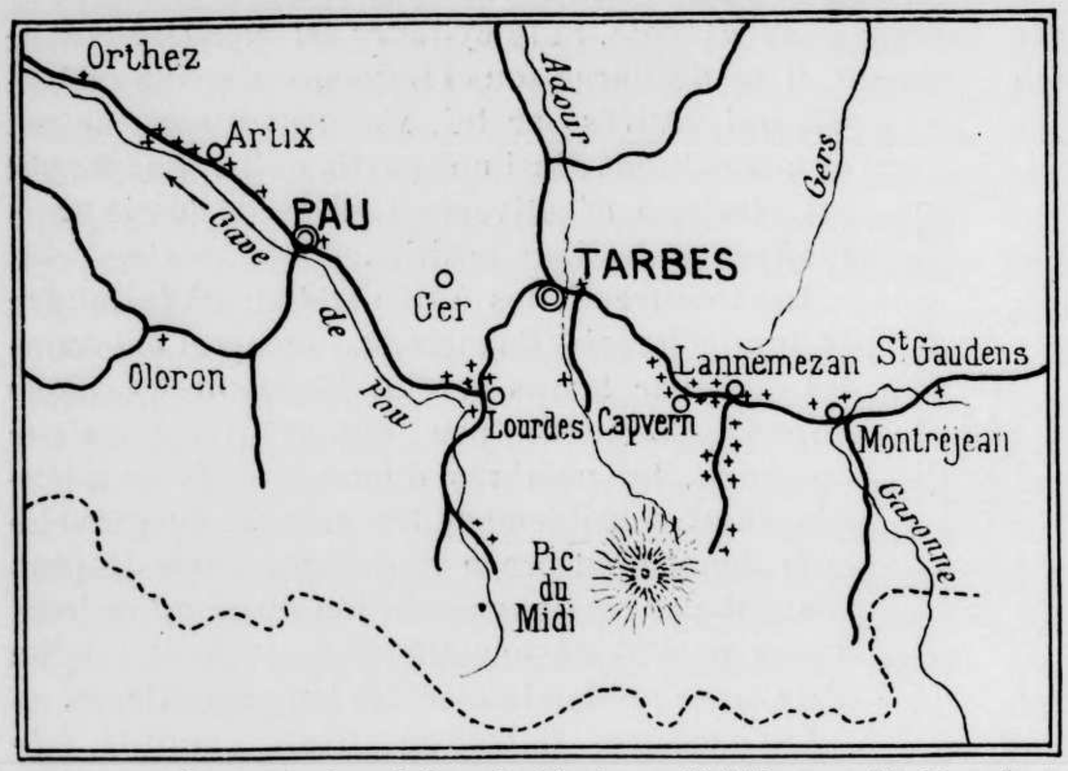


Fig. 2. — Carte de la région de Tarbes (établie par M. Dauzère), montrant la répartition des points atteints par la foudre (+) sur la ligne du chemin de fer électrique de Toulouse à Bayonne.

nombreux se produisent sur ledit plateau, qui est compris partiellement dans le territoire des communes fréquemment foudroyées dont il a été question plus haut.

Un autre argument en faveur de la théorie émise par M. Dauzère relativement à l'influence prédominante qu'exerce l'ionisation négative de l'air pour la détermination des lieux particulièrement exposés à la foudre est fourni par la multitude des arbres foudroyés autour des gouffres où se perdent les ruisseaux dans certaines régions. On sait en effet, depuis les recherches d'Elster et Geitel, que l'air qui s'échappe de ces gouffres est fortement ionisé.

Il se pourrait, pense M. Dauzère, que les lignes de contact entre deux terrains différents où se localisent souvent les points de chute de la foudre agissent par les produits radioactifs entraînés par les eaux le long de ces lignes, en sorte que les sols sensiblement radioactifs se comporteraient d'une manière analogue ; c'est ce qu'il se propose de vérifier dans des recherches ultérieures. De toute manière, il lui paraît que ce sont les propriétés physiques et chimiques des roches et des terrains qui interviennent plutôt que la tectonique.

M. Mengel, directeur de l'Observatoire de Perpignan, pense comme M. Dauzère que la nature du sol paraît intervenir dans une large mesure dans la fréquence des chutes de foudre qui caractérise certaines régions, surtout au voisinage du contact de deux terrains de nature différente. Cette opinion résulte d'un certain nombre d'observations de chutes de foudre qu'il a faites dans le département des Pyrénées-Orientales.

V. **Conclusion**. — De l'ensemble des considérations théoriques et des faits d'observation apportés par un certain nombre de météorologistes et de techniciens, que nous nous sommes efforcés de condenser sans aucun parti pris dans cette étude, onpeut déduire quelques conclusions intéressantes qui semblent admises par la majorité des intéressés.

1° Les réseaux de distribution à haute et à basse tension qui se sont développés tout particulièrement depuis trente ou quarante ans pour les services des télégraphes et des téléphones, les distributions d'énergie électrique, la traction électrique, etc., qu'ils soient parcourus ou non par un courant à haute ou à basse tension, n'exercent aucune influence sur le nombre et l'intensité des orages. Les statistiques montrent que dans les diverses régions examinées, les phénomènes orageux ne se sont pas multipliés depuis la création des réseaux.

2° Ces statistiques ne permettent pas de savoir si la foudre frappe plus souvent les réseaux que les autres points du sol. Mais les observateurs et les spécialistes s'accordent à penser qu'il n'y a aucune raison pour qu'un réseau soit plus souvent atteint. Les coups de foudre sur les réseaux susceptibles de causer des accidents graves ou mortels ne semblent pas plus fréquents que les foudroiements directs sur les arbres, les maisons ou même en pleins champs.

3° Un grand nombre d'observations dues principalement à M. Dauzère ont révélé la prédilection de la foudre pour certains terrains géologiques différents où sont les sources, les cols, les fonds des vallées. Les mesures décèlent en ces points une plus grande conductibilité électrique de l'air.

4° Dans l'établissement des lignes électriques il convient d'éviter les zones dangereuses que permettent de reconnaître les observations géologiques et les mesures relatives à l'ionisation de l'air, ces données étant complétées par une enquête sur les chutes de foudre antérieurement relevées dans la région.

5° Les réseaux à basse tension constituent des conducteurs susceptibles de drainer dans les habitations des courants à haute tension provenant directement d'accidents aux lignes à haute tension ou de surtensions déterminées par les phénomènes orageux. Les dispositifs de protection imposés par les règlements réduisent le plus possible les accidents que ces surtensions sont susceptibles de provoquer.

A. Boutaric.

Revues, analyses et informations

Dispositif automatique, système R. Planche, pour le démarrage des moteurs électriques.

1. Généralités. — Plusieurs solutions se présentent pour le démarrage automatique des moteurs électriques; la première consiste à incorporer le rhéostat de démarrage à l'intérieur du moteur et à rendre son fonctionnement automatique sous l'influence de la force centrifuge, par exemple; suivant une autre on prévoit des appareils séparés en relation avec le moteur et qui exécutent automatiquement la manœuvre du rhéostat.

La première solution se heurte très vite à l'exiguité de l'emplacement disponible, qui ne permet pas de multiplier suffisamment le nombre des étapes de démarrage et elle devient vite irréalisable dès qu'il s'agit de démarrages lents dans le but de vaincre la force d'inertie de masses en rotation tant soit peu importantes, car il est très rapidement impossible d'emmagasiner la quantité de chaleur produite dans les résistances tournantes, d'encombrement nécessairement restreint et qui n'ont qu'une capacité calorifique extrêmement faible.

Le démarrage de ces moteurs doit donc, dans tous les cas, rester très rapide pour ne pas dire presque instantané, et si une chute de tension importante ou un excès de résistance mécanique vient à ralentir la rapidité de ce démarrage, le moteur reste trop longtemps branché sur ces résistances qui s'échauffent alors exagérément.

La deuxième disposition qui consiste à placer le dispositif de démarrage à l'extérieur du moteur élimine du même coup toutes les questions de température, d'échauffement ou d'emplacement; mais les moyens employés jusqu'à ce jour pour rendre ces dispositifs automatiques, tels que les contacteurs d'élimination de résistances ou les commandes par servomoteur électrique séparé, sont souvent relativement coûteux et encombrants.

Le problème de l'automaticité de ce démarrage trouve une solution purement électrique, alors que les solutions proposées jusqu'à présent ont été d'ordre purement mécanique. Au point de vue de la capacité calorifique, l'appareil décrit ci-après et construit par les Etablissements René Planche et Cie peut emmagasiner des quantités de chaleur importantes pendant les périodes de démarrage et les évacuer par la suite, sans risque de détérioration. D'autre part, au point de vue de la souplesse de fonctionnement, cet appareil utilisant les propriétés des rhéostats liquides est d'un fonctionnement essentiellement progressif.

Les anomalies de fonctionnement ou les inadvertances prolongées sont révélées automatiquement par la production des vapeurs engendrées ; la remise en route est instantanée. sans risque de la détérioration, puisqu'il suffit de remplacer l'eau qui aurait pu s'évaporer.

2. Description. — L'appareil construit par les Etablissements René Planche et Cie, et dont la figure 1 montre l'aspect extérieur, se compose d'une cuve à deux compartiments, dont les dimensions d'encombrement sont approximativement les mêmes que celles d'un rhéostat ordinaire. La partie inférieure, légèrement évasée, contient une solution d'eau et de carbonate de sodium. A la base de cette cuve se trouve un rotor à palettes centrifuges, enfermé dans un carter (fig. 2). Dans la partie centrale sont placées trois électrodes fixes à surface. Elles sont isolées électriquement entre elles et reliées aux bornes du moteur que l'on doit faire démarrer. Leurs extrémités plongent légèrement dans la solution, assurant ainsi la résistance nécessaire à la première phase de démarrage lors de la fermeture du circuit. A la partie supérieure se trouve le dispositif de mise en court-circuit, composé d'une plaque de métal avec touches élastiques reposant sur une membrane souple et isolante. En dessous de cette membrane, et de part et d'autre, se trouve un tube qui fait communiquer le réservoir supérieur avec la cuve inférieure.

Fig. 1. — Vue extérieure du dispositif de démarrage automatique.

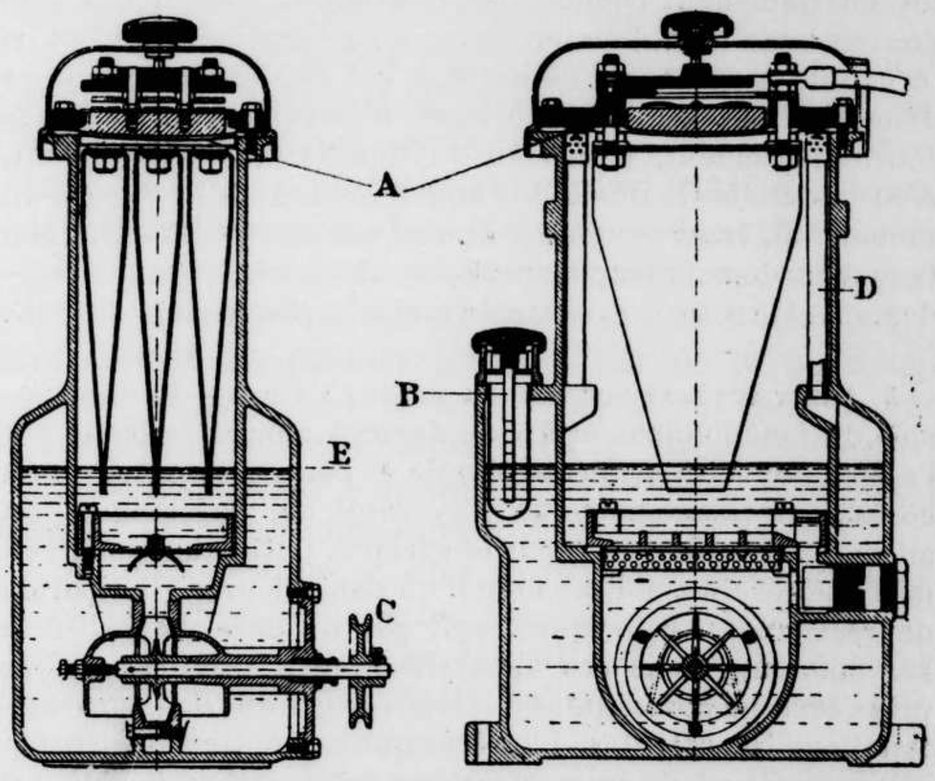


Fig. 2. — Croquis du dispositif de démarrage automatique : A, membrane en caoutchouc souple du dispositif de mise en court-circuit (formant aussi joint étanche); B, jauge de niveau ; C, poulie commandée par le moteur à démarrer; D, tube de retour (eau et solution) ; E, niveau de la solution au démarrage.

3. Principe du fonctionnement. — L'appareil entre en fonctionnement au moment de la fermeture du circuit. Le moteur démarre et la turbine d'élévation du mélange se met en mouvement par l'intermédiaire d'une poulie prévue sur l'arbre du moteur lui-même. Sous l'influence de cette rotation, le liquide qui monte alors graduellement dans la partie supérieure de la cuve, vient immerger progressivement les électrodes jusqu'à ce qu'il rencontre la membrane souple qu'il soulève, après avoir vaincu la pression de l'eau située de l'autre côté de la membrane; le dispositif de mise en court-circuit est ainsi actionné. La section des canalisations d'évacuation n'étant pas suffisante pour assurer le débit total du rotor, la pression du liquide augmente et applique fortement sur les plots le dispositif de mise en court-circuit, tandis que le trop-plein s'écoule par les deux tubes du réservoir supérieur qui ont servi à l'évacuation de l'air pendant le mouvement ascendant du liquide.

Lors de l'arrêt du moteur, grâce aux très larges sections du passage du rotor à palettes centrifuges, le liquide redescend très rapidement dans la partie inférieure par les ouïes de la pompe. La mise en court-circuit est immédiatement éliminée et l'appareil reprend en deux secondes, environ, sa position primitive de démarrage.

Le réglage de cet appareil est extrêmement simple. Après avoir connecté les bornes aux balais du moteur, il suffit de verser une certaine quantité de solution par le bouchon prévu à cet effet jusqu'à ce que les extrémités des électrodes soient partiellement plongées dans le liquide. Il suffira d'établir le niveau nécessaire pour que les résistances offertes par les électrodes soient équivalentes à celles nécessaires pour la première phase de démarrage.

4. Relation entre le couple résistant au démarrage et la rapidité du démarrage. — Remarquons d'abord que le démarrage est essentiellement progressif, puisqu'il tient automatiquement compte des résistances mécaniques rencontrées par le moteur en cours d'accélération. En effet, si e couple résistant au démarrage est très élevé, le moteur démarre lentement, la turbine d'élévation du mélange tourne lentement, le niveau du liquide monte lentement, d'où résulte enfin une faible augmentation de la vitesse du moteur. Si, inversement, le couple résistant est très faible, le moteur démarre rapidement; sa vitesse croît aussi rapidement et le rotor du moteur se met très vite en court-circuit.

5. Arrêt automatique dans la marche a vide. — La suppression du fonctionnement à vide devient alors très facile par l'adjonction d'un dispositif simple et peu coûteux, tel qu'un contacteur manométrique, hydraulique, mécanique ou autre, relié à un contacteur électrique. Cette question avait déjà été résolue, soit à l'aide d'un contacteur d'élimination de résistances rotoriques, soit par d'autres dispositifs à servomoteur; mais ces appareils étaient fragiles et leur prix élevé ne permettait de les envisager que dans des installations importantes. L'intérêt que comportent les économies résultant de la suppression des marches à vide est cependant capital dans la plupart des cas et quelle que soit la puissance. Il faut bien tenir compte, en effet, que lorsqu'un moteur tourne à vide, la consommation d'énergie n'est pas proportionnelle à la puissance transmise par l'arbre du moteur. Si l'on construit (fig. 3) la courbe de rendement d'un moteur et celle de l'énergie réellement payée à la société de distribution, en fonction de sa charge, on s'aperçoit que, quand le moteur fournit 10 pour 100 de sa puissance sur l'arbre, l'énergie payée est double de l'énergie utile. Quand la puissance de ce moteur atteint 50 pour 100 de sa valeur normale, l'énergie payée correspond à 59 pour 100 de l'énergie utile et à 120 pour 100 quand la pleine charge est atteinte. La fraction de l'énergie payée indûment est représentée par les ordonnées hachurées (fig. 3).

Ce graphique fait ressortir tout l'intérêt qu'un industriel doit attacher à la suppression de la marche à vide qui est

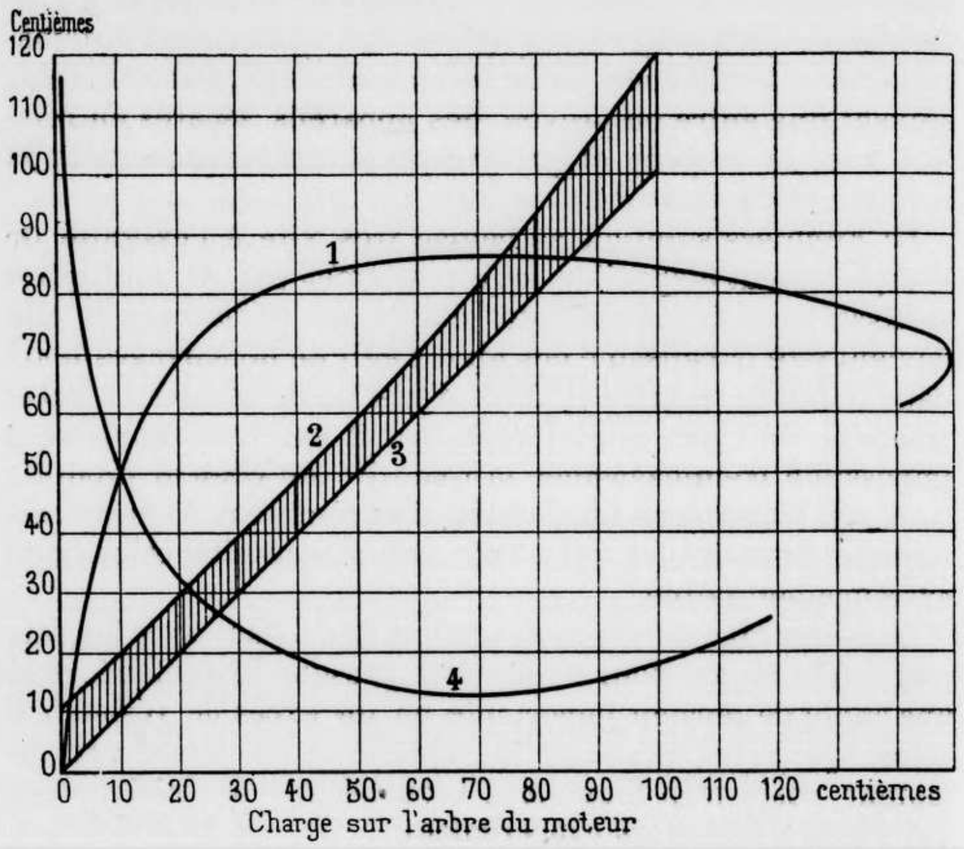


Fig. 3. — Courbes représentant les variations, en fonction de la puissance utile sur l'arbre : 1, du rendement; 2, de l'énergie enregistrée au compteur; 3, de l'énergie correspondante fournie sur l'arbre; 4, de l'énergie perdue, mais enregistrée.

d'autant plus onéreuse que la puissance fournie est plus voisine de zéro. Avec le dispositif décrit, auquel on adjoindra un contacteur électrique, il sera facile, par le simple jeu d'un bouton placé à une distance quelconque du moteur, de fermer le circuit du moteur à faire démarrer. On évitera ainsi les conséquences fâcheuses des à-coups sur le réseau et les manipulations dangereuses qui résulteraient d'une manœuvre trop rapide du rhéostat.

6. Remarques. — 1° Il n'y a pas à craindre que, lors du fonctionnement, la solution subisse une évaporation rapide et que son remplissage s'impose trop fréquemment. En effet, l'appareil travaille en vase clos, de sorte que, s'il se produit de légères évaporations au moment du démarrage, ces vapeurs se trouvent immédiatement condensées à nouveau et le niveau du liquide ne subit pas de variation importante. En outre, s'il se produit un échauffement du liquide pendant la période de démarrage, le refroidissement s'effectue d'autant plus facilement que ce liquide est constamment brassé et qu'il n'y passe pratiquement aucun courant, tant pendant la marche normale du moteur que durant ses arrêts.

2° Quant à la puissance absorbée par le dispositif de démarrage, un simple calcul montre qu'elle est inférieure à 0,01 ch. Il suffit en effet que la pompe assure un débit de quelques litres en 4 ou 5 secondes avec une élévation du niveau de quelques décimètres. — T. P.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Projet de normalisation des formats du papier

L'Association française de Normalisation vient de nous adresser une note-circulaire relative aux travaux de normalisation dans l'industrie du papier entrepris par cette association, en l'accompagnant d'une lettre nous demandant de lui donner la plus large publicité possible. Nous acquiesçons d'autant plus volontiers que la question envisagée intéresse tous nos lecteurs à un double titre : d'abord comme abonnés, car l'adoption de la normalisation proposée pourrait avoir pour conséquence de modifier la hauteur et la largeur des exemplaires de cette revue, ensuite comme consommateurs de papier pour correspondance commerciale, établissement et impression de circulaires, prospectus, notices, prix courants, etc., la normalisation envisagée ayant principalement pour objet d'unifier les dimensions des formats de papier employés dans le commerce. Aussi reproduisons-nous ci-dessous la circulaire de l'Association française de Normalisation, après une introduction dans laquelle est donné un exposé succinct de la question ; à la suite nous avons résumé les objections présentées par l'Union des Maîtres Imprimeurs de France dans un rapport établi par M. L. Hardy, président du Syndicat régional des Patrons Imprimeurs de Paris et de la Périphérie parisienne, puis, dans la dernière partie, nous avons exposé nos propres objections.

I. **Introduction.** — Le projet de normalisation soumis à l'enquête est l'aboutissement d'études entreprises à peu près simultanément, dès la fin de la guerre, par le Deutscher Normen Ausschuss, d'une part, et la Société suisse des Constructeurs de Machines, d'autre part. Les dimensions des formats que cette étude a conduit à adopter ont été publiées par la Deutsche Industrie Normung, d'où le nom de système D. I. N. donné à l'ensemble des règles caractérisant la normalisation proposée.

D'après une communication faite par M. Jean-Philippe Lugrin, docteur ès sciences, au Congrès international de l'Organisation scientifique du Travail, qui s'est tenu à Paris en 1929, l'une de ces règles aurait été énoncée dès 1796 par un Allemand et appliquée en France deux ans plus tard. Voici, en effet, ce qu'on lit dans cette communication (1) :

« Déjà, en 1796, l'Allemand Lichtenberg, s'inspirant de considérations purement esthétiques, avait proposé de donner, aux livres seulement, un format tel que le rapport des deux côtés soit égal à $1 : \sqrt{2}$. On sait qu'un rectangle dont les dimensions sont dans ce rapport donne par pliage en deux, en quatre, en huit, etc., une série d'autres rectangles tous semblables, c'est-à-dire dont les côtés présentent toujours ce rapport $1 : \sqrt{2}$.

» Cependant, le premier essai d'une véritable normalisation, c'est un gouvernement français qui l'a tenté : le Directoire. La loi du 13 brumaire an VII (4 novembre 1798) a, en effet, prescrit une unification des formats des papiers officiels selon la règle de Lichtenberg, bien que les travaux de ce savant fussent probablement ignorés en France à cette époque... C'est ce qui explique pourquoi le papier timbré français est encore actuellement d'un format semblable à celui des papiers allemands normalisés ».

Mais l'application de la règle de Lichtenberg donne seulement le rapport de la largeur à la hauteur. Pour fixer la valeur de chacune de ces dimensions une seconde condition est nécessaire. La Deutsche Industrie Normung a choisi la suivante : La surface de la feuille normale de base doit être, après façonnage, de 1 m^2.

Il résulte de là que les dimensions de cette feuille sont : 841 mm pour la largeur et 1 189 mm pour la hauteur ; c'est le format Ao de la série A. Pliée en quatre, cette feuille, ou plutôt cette quadruple feuille suivant sa dénomination courante, donne le format A2 (deux plis) ayant pour dimensions 420 mm et 594 mm. Cette feuille pliée de nouveau en quatre, donne la feuille type de format A4 (quatre plis à partir de la quadruple feuille), ayant 210 mm de largeur et 297 mm de hauteur, destinée à remplacer dans la correspondance la feuille du format commercial (21 cm × 27 cm) et la feuille du format administratif (21 cm × 33 cm).

Mais cette série A, dite série principale, ne permet pas de satisfaire tous les besoins de l'impression. A cette série, la Deutsche Industrie Normung a dû en ajouter trois autres satisfaisant d'ailleurs toutes trois à la règle de Lichtenberg.

La série B présente avec la série A la relation suivante : les dimensions de chaque format B constituent la moyenne géométrique des dimensions des formats A entre lesquels ils sont intercalés. La feuille Bo, dont les autres sont déduites par pliage, a une largeur de 1 m et une hauteur de 1 414 mm.

La série C, dont le format Co a pour dimensions 917 mm × 1 297 mm, est adoptée pour l'établissement des enveloppes, chemises, dossiers, etc., qui doivent

(1) Pour se procurer cette communication s'adresser à l'Association française de Normalisation (prix : 2,25 fr).

être naturellement un peu plus grands que les papiers qu'ils contiennent. Ainsi le format C6 (114 mm × 162 mm) conviendra pour la confection d'enveloppes pour lettres du format A4 pliées deux fois ou pour celles du format A5 pliées une fois ou encore pour celles du format A6 non pliées.

Les formats de la série D, dont le plus grand Do a pour dimensions 771 mm × 1090 mm, conviennent quelquefois pour les enveloppes et les chemises, mais ils ne doivent être employés qu'en cas de nécessité.

Telles sont les principales caractéristiques du système de normalisation de la Deutsche Industrie Normung (1).

II. **Circulaire de l'Association française de Normalisation**. — Voici le texte de cette circulaire.

1. La Commission d'Etudes. — Sur la demande de plusieurs groupements et syndicats, l'Association française de Normalisation a entrepris l'étude en France d'une normalisation dans l'industrie du papier et a constitué, à cet effet, une commission comprenant les représentants des différents groupements intéressés de producteurs, intermédiaires, commerçants et usagers, ainsi que des pouvoirs publics.

Cette commission a tenu deux réunions (14 mai et 3 juillet 1930).

Suivant le programme des travaux arrêté, l'étude doit porter :

1° Sur la détermination des formats de base à adopter en France et sur le choix parmi ces formats adoptés — formats de base et formats dérivés — de ceux qui devront être utilisés pour tous les emplois divers (correspondance, affiches, imprimés d'affaires, catalogues, prix courants, formulaires, dessins, plans, fiches, etc.). Dans chaque grand groupement tels que banques, chemins de fer, administrations publiques, etc., le travail serait à accomplir, dans le cadre adopté, par des sous-commissions spéciales au groupement;

2° Sur l'établissement d'une spécification du papier : poids, couleurs, conditions de livraison et de réception;

3° Sur certaines questions dérivées telles que normalisation des en-têtes des lettres commerciales (date, indication de la firme, références, etc.), des fenêtres transparentes sur les enveloppes, des trous de perçage pour le classement des lettres, etc.

(1) Dans sa communication au Congrès international de l'Organisation scientifique du Travail, M. J.-P. Lugrin donne la bibliographie des brochures et articles publiés dans divers pays sur la normalisation des formats de papier. Ceux de nos lecteurs que la question intéresse particulièrement y trouveront sans aucun doute des renseignements plus complets que ceux que nous donnons ci-dessous.

En ce qui concerne plus spécialement le système de normalisation D. I. N., les deux publications que M. Lugrin considère comme les meilleures sont les suivantes : en français, la brochure de l'Administration des Postes et Télégraphes suisses (15 pages); en allemand; l'étude du Deutscher Normen Ausschuss intitulée « Formate und Vordrucke » (1926, 101 pages).

2. Le système D. I. N. — La normalisation des formats de papier, inscrite depuis plusieurs années au programme des travaux internationaux de normalisation, a fait l'objet d'une étude très complète de la part du Comité allemand de Normalisation (D.I.N.) qui a établi un système actuellement adopté par 13 pays, savoir :

En Europe : Allemagne, Autriche, Belgique, Hollande, Hongrie, Norvège, Pologne, Roumanie, Russie, Suisse, Tchécoslovaquie ;

Hors d'Europe : le Japon.

Le monde, à l'heure actuelle, paraît donc partagé en 3 groupes ;

Europe centrale et orientale où le travail est fait ;

Pays anglo-saxons (Angleterre, Etats-Unis) où le travail n'est qu'ébauché ;

Pays latins d'Europe et d'Amérique, où rien n'a encore été entrepris.

La feuille de base de la série principale format Ao de la série A a une surface de 1 m^2.

Les dimensions des côtés de la feuille de base Ao (841 mm × 1189 mm) ont été calculées de telle sorte que leur rapport soit toujours égal à $1 : \sqrt{2}$ (en nombres ronds : 5 : 7), c'est-à-dire qu'ils sont entre eux comme le côté d'un carré est à sa diagonale.

Ce rapport reste invariable pour tous les formats dérivés qui sont ainsi géométriquement semblables, chacun d'eux étant déduit du format qui le précède par pliage de la feuille en deux parties égales dans le sens de la plus grande dimension. Ce rapport a été choisi pour éviter que des dédoublements successifs ne conduisent à des formats inacceptables, par suite de l'exagération de l'une des deux dimensions par rapport à l'autre.

Cette série A, qui comporte une gamme de 12 formats dérivés, doit pouvoir répondre à tous les besoins et à toutes les utilisations du papier depuis l'affiche jusqu'à l'étiquette.

Le format dérivé A4 admis pour la lettre d'affaires a comme dimensions : 210 mm × 297 mm ; il correspond au format fini employé actuellement en France pour la lettre commerciale : 21 cm × 27 cm (qui, lui-même dérive du format in-4°, coquille, 22 cm × 28 cm, après rognure de 1 cm de chaque côté).

En outre de cette série principale A utilisée chaque fois que des circonstances absolument déterminantes ne s'y opposent pas, il a été également établi une série secondaire B (Bo : 1000 mm × 1414 mm) qui ne doit, en principe, être employée que dans des cas exceptionnels et dont les formats ont comme dimensions les moyennes géométriques des dimensions des formats de la série A entre lesquels ils sont intercalés ; et la série C (C_o : 917 mm × 1297 mm) — 8 formats dérivés — adoptée pour les enveloppes, chemises, dossiers, etc.

3. Formats bruts et formats finis. — Parmi les pays qui ont adopté dans son principe le système D.I.N., deux tendances se manifestent :

1° Le point de vue allemand, suisse, etc. qui con-

siste à normaliser deux types de formats bruts se rapportant chacun à un traitement différent et devant conduire finalement à des formats finis identiques, soit :

a) format brut : 841 mm × 1 189 mm (pour simple découpage) ;

b) format brut : 860 mm × 1 220 mm (pour découpage après pliage).

2° Le point de vue hollando-polonais qui consiste à normaliser un seul format brut (841 mm × 1 189 mm) devant donner, après finissage des formats finis différents suivant le mode de travail, mais les différences en résultant sont considérées comme de peu d'importance dans la pratique, étant donné que les couvertures des brochures ou dossiers auront toujours les dimensions exactes des séries D.I.N.

4. Simplification des formats français. — Les deux premières réunions de la Commission française du Papier ont permis d'envisager une simplification des formats français actuellement existants dont le nombre serait ramené à trois de dimensions fixes :

Coquille 44 cm × 56 cm ou Carré 45 cm × 56 cm et leurs dérivés ;

Raisin 50 cm × 64 cm et les dérivés ;

Jésus 56 cm × 72 cm et les dérivés,

(et le format Colombier 60 cm × 80 cm employé spécialement pour les affiches).

Trois solutions pouvaient être envisagées :

1° S'en tenir seulement à une simplification des formats français existants.

2° Adopter la normalisation système D. I. N.

3° Ajouter dans la norme, aux formats français retenus, coquille, raisin et jésus par exemple, la série principale D. I. N. A.

De nombreux représentants des usagers présents à la réunion, ainsi que les délégués des groupements suivants : transformateurs, constructeurs de matériel de fabrication du papier, commerce de papier, se sont montrés partisans soit de la deuxième, soit de la troisième solution.

Par contre, les représentants des fabricants de papiers, des constructeurs de machines d'imprimerie, et surtout des imprimeurs, se sont opposés formellement à l'adjonction de ce format et n'acceptent que la première solution (1).

Devant ces avis contraires, la Commission a décidé de réserver la question.

5. Mise a l'enquête de la question. — L'Association française de Normalisation a été chargée de procéder à une large enquête auprès des usagers. Cette enquête s'adresse de préférence aux grands groupements professionnels et autres ; il serait désirable que l'avis exprimé fût non celui de personnalités individuelles, mais le reflet de l'opinion générale des membres constituant le groupement.

Il y aurait en outre un grand intérêt à ce que les intéressés fissent connaître succinctement les raisons de tout ordre : commercial, industriel, financier, etc. qui, à leur avis, militent en faveur de la solution qu'ils préconisent.

Ces avis sont à transmettre aux bureaux de l'Association française de Normalisation, 27, avenue de Friedland, Paris (8e).

Il serait désirable d'aboutir rapidement et, pour cela, que les résultats de l'enquête fussent adressés pour le 1er janvier 1931.

III. **Rapport de M. L. Hardy.** — Il résulte du texte précédent que les fabricants de papiers, les constructeurs de machines d'imprimerie et surtout les imprimeurs sont formellement opposés à l'adoption du système de normalisation D. I. N. (1). Comme ils constituent à peu près la totalité de ceux qui peuvent, par une pratique journalière, se rendre techniquement compte des avantages et des inconvénients que présente ce système, il convient de connaître les arguments qu'ils présentent à l'appui de leur opinion. Aussi croyons-nous utile de signaler ci-dessous quelques points du rapport établi par M. Hardy au nom de l'Union syndicale et Fédération des Syndicats des Maîtres Imprimeurs de France, rapport où sont présentés ces arguments et qui contient, en outre, une proposition concernant la normalisation, en France, des formats de papiers.

1. Les objections et les conclusions des imprimeurs. — 1° La première objection est que la base d'apparence scientifique du système D. I. N., à savoir, que la surface de la feuille quadruple Ao doit être exactement de 1 m², ne présente, en pratique, aucun intérêt.

En effet, les dimensions D. I. N. se rapportent aux formats finis. Les formats bruts doivent donc avoir des dimensions plus grandes. Pour fixer ces derniers on peut admettre que l'objet façonné comporte 5 plis de la feuille quadruple : c'est le format A5 de 148 mm × 210 mm, moitié du format de la lettre commerciale. Pour la feuille pliée, le façonnage exige 5 mm pour le devant et 10 mm pour la tête et le pied ; il s'ensuit que le format de départ Ao doit être plus grand de 5 × 8 mm dans un sens et de 4 × 10 mm dans l'autre, soit de 40 mm pour la largeur et pour la hauteur. Les dimensions brutes du format Ao doivent donc être de (840 + 40) mm × (1189 + 40) mm, dimensions qui donnent une surface de 1,08064 m². Or, écrit M. Hardy, « si la surface devait avoir une utilité pour déterminer les poids, ce n'est que celle du format brut qui pourrait

(1) Voir le rapport « Projet de normalisation des papiers » établi par M. L. Hardy, président du Syndicat régional des Patrons Imprimeurs de Paris et de la Périphérie parisienne. Pour se procurer ce document, s'adresser à l'Association française de Normalisation.

(1) D'après un rapport présenté par M. J. Danguin au Congrès international de la Presse technique et professionnelle qui s'est tenu à Bruxelles en septembre 1930, « les éditeurs sont également opposés à l'adoption du format D. I. N. qui ne correspond à aucun des formats habituels de la librairie française ».

convenir, et, comme elle n'est plus exactement de 1 m², l'avantage disparaît ».

2° La seconde objection est que dans le système D. I. N., les dimensions doivent être exprimées en millimètres. Or, lorsqu'elles sont exprimées en centimètres, ainsi que cela a lieu dans la série « coquille » employée en France pour la lettre commerciale, « elles offrent beaucoup plus de facilité pour les calculs, se retiennent aisément et présentent moins d'aléas pour le travail de façonnage ».

3° La troisième objection, la plus importante, est que la substitution du format D.I.N. au format commercial pour les papiers employés pour la correspondance, les rapports, les notes de service, etc., entraînerait pour les usagers une augmentation de dépenses d'au moins 10 pour 100. La feuille type de la lettre dans le système allemand a, en effet, pour dimensions en format brut, 220 mm × 307 mm, soit une surface de 0,06754 m², alors que dans le système français elle a 22 cm × 28 cm, soit une surface de 0,0616 m². Les prix d'achat du papier seront donc dans le rapport de 6754 à 6160, soit de 1,096 à 1. A cette augmentation de 9,6 pour 100, il faudra ajouter celle des frais de façonnage due à la nécessité de changer l'outillage actuel qui, dans bien des cas, ne répondra plus aux nouvelles dimensions (1).

4° Une autre objection est que pour les imprimés commerciaux une seule forme des feuilles, de dimensions toujours dans le même rapport de 1 à 1,41, ne satisferait pas à tous les besoins. Les nouvelles méthodes d'organisation, de comptabilité commerciale, de comptabilité de fabrication dans l'industrie, de publicité, etc., exigent des imprimés dont les dimensions sont fort variables et ne pourraient s'accommoder d'une seule forme de papier.

5° Enfin, pour l'édition il serait difficile de faire admettre une seule forme de livres qui remplacerait notre forme in-8°, spéciale aux petits formats, et notre forme in-4° qui convient si bien aux grands formats.

Conclusion. — M. Hardy résume comme il suit les objections qui précèdent.

« Le format international tel qu'il nous est présenté ne peut pas être adopté par les imprimeurs français pour les raisons principales suivantes :

1° Il engage une consommation supplémentaire de papier sans aucune nécessité ni aucune compensation et, de ce fait, augmente les prix de revient ;

2° Ne correspondant pas à l'outillage, il entraîne des dépenses de fabrication inutiles ;

3° Les dimensions présentent des difficultés et des aléas ;

4° La forme unique ne permet pas de répondre aux besoins de la clientèle ;

5° La surface qui est donnée comme un avantage important n'a, en réalité, aucun intérêt pratique. »

M. Hardy ajoute :

« Les imprimeurs français sont partisans d'un format international. Ils estiment que le moyen d'y arriver est :

1° De ne pas s'arrêter à une formule scientifique qui a beaucoup d'attrait, mais n'a présenté en réalité aucun intérêt pratique et, au contraire, que des désagréments pour un grand nombre de pays ;

2° De chercher à réaliser pour tous l'objet essentiel de la normalisation qui est de simplifier pour diminuer les prix de revient de fabrication, faciliter les approvisionnements, améliorer les produits et en réduire le coût ;

3° De prendre comme base le format « coquille » qui existe dans presque tous les pays. »

2. Le projet de normalisation des imprimeurs français. — La seconde partie du rapport de M. Hardy est consacrée à l'exposé du système de normalisation préconisé par les maîtres imprimeurs, normalisation d'ailleurs déjà à peu près réalisée.

La série principale de ce système serait la « coquille » dont fait partie la feuille type de la lettre ; dans cette série, la feuille quadruple a pour dimensions, comme il est dit plus haut, 88 cm × 112 cm, ce qui donne 44 cm × 56 cm pour la feuille simple et 22 cm × 28 cm pour le quart de feuille, lequel, après rognure, donne le format du papier à lettre 21 cm × 27 cm.

A cette série principale seraient adjointes deux séries complémentaires : la série « raisin » dont la feuille simple a pour dimensions 50 cm × 64 cm et la série « jésus » dont la feuille simple a pour dimensions 56 cm × 72 cm.

Nous ne croyons pas devoir donner ici plus de détails sur ce système de normalisation et nous nous bornerons à signaler l'une des conclusions de cette partie du rapport de M. Hardy : « Depuis plus de vingt ans, la question est à l'ordre du jour de l'Union des Maîtres Imprimeurs. Aujourd'hui il faut arriver à une solution qui s'impose, non seulement pour les avantages que nous devons en tirer, mais aussi pour éviter les complications que nous apporteraient les formats, dits formats internationaux. »

IV. **Quelques autres remarques concernant le projet de normalisation D. I. N.** — En 1927, l'administration de notre revue s'est trouvée conduite à examiner le système D. I. N. à la suite de l'adoption du format A4 de ce système par l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique ainsi que par le Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. De cet examen sont résultées les remarques suivantes :

1° L'application de ce système à notre revue augmenterait notablement nos dépenses de fabrication,

(1) On pourrait objecter qu'on ferait une économie du même ordre de grandeur en utilisant le nouveau format sur sa hauteur totale, ce qui diminuerait d'environ 10 pour 100 le nombre de feuilles nécessaires à un même travail. Mais cette économie ne pourrait être réalisée que si le travail considéré exigeait un nombre de feuilles du format actuel égal à 10 ou à un multiple de 10. Or, pour la correspondance, une seule feuille est généralement suffisante ; l'augmentation du prix de revient de la feuille resterait donc, en général, sans contre-partie.

— Elle aurait, en effet, pour conséquence d'augmenter d'environ 2,7 cm la hauteur des pages de notre revue, conséquence fâcheuse pour une publication qui compte déjà 54 volumes venant s'ajouter aux 160 volumes des revues dont elle est issue. Aussi deux hypothèses ont-elles été envisagées.

La première est de conserver au texte imprimé la hauteur qu'il a actuellement de manière à permettre aux lecteurs qui le désireraient de faire rogner les pages, au moment de la reliure, au format des volumes des années antérieures. Dans ces conditions, nos dépenses de papier et nos frais de poste se trouveraient augmentés d'au moins 10 pour 100 sans que nous puissions récupérer cette augmentation.

La seconde hypothèse consistait, au contraire, à utiliser au maximum la surface des pages. A l'augmentation de nos dépenses du papier et de poste s'ajoutaient alors des frais de composition et d'impression. L'ensemble de nos dépenses de fabrication se trouverait ainsi majoré d'au moins 10 pour 100 que nous ne pourrions récupérer qu'en augmentant dans la même proportion nos prix d'abonnement et nos tarifs de publicité ;

2° Outre l'augmentation du prix de revient des papiers employés pour la correspondance et autres documents, l'adoption du format proposé rend difficile le classement de ces documents. — L'augmentation de prix est d'environ 10 pour 100 comme il a été dit. D'autre part, les écrits ou imprimés commerciaux du format A4 (210 mm × 297 mm) ne peuvent entrer dans les enveloppes correspondant au format actuel (210 mm × 270 mm) et servant à mettre ensemble les documents se rapportant au même sujet; si l'on prenait des enveloppes spéciales pour le format A4, celles-ci ne rentreraient pas dans les classeurs. Il est vrai qu'on peut souvent éviter cet inconvénient en rognant les feuilles de papier en haut et en bas ; mais cette opération n'est pas toujours possible et, quand elle l'est, elle cause une perte de temps, ce qui va à l'encontre du but de toute normalisation ;

3° Le projet allemand de normalisation a reçu jusqu'ici relativement peu d'applications. — Bien qu'il soit dit plus haut que treize pays ont adopté les formats D. I. N. et que ceux-ci soient qualifiés d'internationaux, l'utilisation de ces formats est relativement peu importante. Nous avons eu maintes fois l'occasion de le constater en mesurant les dimensions des documents reçus à nos bureaux. C'est également l'opinion que M. J. Danguin, dans son rapport à la Fédération internationale de la Presse technique et professionnelle, exprime comme il suit : « L'application du format international dans les treize pays qui l'ont adopté est loin d'être entrée dans le domaine de la pratique. C'est en Suisse où il a aujourd'hui la plus large application ; il est vrai que dans ce pays il a été grandement poussé par l'Administration des Postes et l'Administration des Chemins de fer qui l'ont imposé d'office. En Allemagne où il commence à s'implanter sérieusement, il dépasse pourtant à peine le dixième de la consommation totale. Dans les autres pays, à part quelques applications isolées, l'adoption est plutôt théorique. »

4° La base scientifique de la normalisation allemande n'est peut-être pas la seule cause de la faveur dont il jouit en Allemagne. — On ne peut mettre en doute que la plupart des promoteurs du système D. I. N. aient été surtout séduits par le fait que les formats d'une même série sont des rectangles semblables et que la surface de l'un des formats de la série principale est exactement de 1 m². Mais la faveur avec laquelle l'ont accueilli les fabricants allemands de matériel d'imprimerie a peut-être une cause plus commerciale. C'est du moins ce que prétendait un ingénieur allemand, très au courant des travaux de normalisation entrepris en Allemagne, dans une réunion internationale concernant la bibliographie qui se tint à Bruxelles en 1925 ou 1926. « Avant la guerre, les Allemands, disait-il, étaient les principaux fournisseurs du marché européen pour les machines à fabriquer le papier et les machines à imprimer. La guerre a permis aux fabricants américains de les supplanter sur ce marché. Préconiser et faire adopter internationalement des formats nouveaux, exigeant quelques modifications dans les dimensions du matériel d'imprimerie, était pour les fabricants allemands une occasion de reprendre contact avec leurs anciens clients, en leur proposant de leur fournir le nouveau matériel que, seuls, ils sont actuellement en mesure de leur livrer rapidement. »

Il est bien évident que cette raison d'ordre commercial ne pourrait diminuer en rien l'intérêt que présenterait l'adoption du système allemand si cet intérêt existait réellement. Aussi ne la signalons-nous qu'à titre documentaire,

V. **Conclusions**. — Nous estimons dès lors que, comme le déclare M. L. Hardy, nous n'avons nullement besoin de la normalisation allemande et que nous devons nous opposer énergiquement à son introduction en France, cette introduction ne pouvant avoir d'autre effet que d'augmenter encore la diversité des formats car il n'est pas douteux que pendant de nombreuses années encore on se servira, à l'étranger aussi bien qu'en France, du format 21 cm × 27 cm pour la correspondance. Ce format était pratiquement le format international d'avant-guerre, comme nous nous en sommes maintes fois assurés en compulsant des dossiers établis avant 1914 et contenant des documents émanant de presque tous les pays du monde.

Aussi faisons-nous le vœu que l'Union des Maîtres Imprimeurs poursuive d'une manière continue l'étude de la normalisation des formats de papiers. M. L. Hardy nous dit que depuis plus de vingt ans cette question est à l'ordre du jour des travaux de l'Union. Nos souvenirs ne remontent pas si loin; toutefois, nous nous rappelons que vers la fin de la guerre, au moment où le gouvernement imposait des restrictions à la consommation du papier, les maîtres imprimeurs reprirent l'étude de la question. Mais il semble qu'elle n'ait pas

été poursuivie d'une façon continue car, en novembre 1927, nous étant informés auprès de nos fournisseurs de papier et de notre imprimeur s'ils avaient connaissance du système D. I. N., tous nous répondirent qu'ils ignoraient en quoi consistait ce système. C'est regrettable, car il est présumable que, étant donné la faveur dont jouissait en 1919 le format 21 cm × 27 cm et étant donné aussi que le format 210 mm × 297 mm n'avait pas encore fait son apparition, les maîtres imprimeurs français seraient parvenus à obtenir l'adoption officielle de leurs propositions par les pays étrangers. Ajoutons d'ailleurs à leur décharge qu'à cette époque il n'existait en France aucun organisme ayant qualité pour étudier la normalisation industrielle, établir des normes et les soumettre à l'enquête publique. C'est d'ailleurs cette lacune qui nous vaut aujourd'hui bien des déceptions dans les réunions internationales, les offices de normalisation des pays étrangers, qui disposent d'un nombreux personnel et d'importants subsides, se trouvant en meilleure posture que nous pour imposer leurs propositions (1).

J. B.

Assemblées générales

Compagnie hydroélectrique de la Cure

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 7 JUILLET 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société au capital de 21 600 000 fr et dont le siège social est à Paris, 96, rue de la Victoire, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Le décret portant substitution de la compagnie à la Société d'Etudes des Chutes de la Cure et des Chemins de fer électriques de l'Yonne, dans les droits et obligations attachés à la convention de rétrocession de la concession par l'Etat de l'usage des forces hydrauliques à aménager sur la rivière de la Cure a été rendu le 25 août 1929.

La publication de ce décret a entraîné la levée de la condition suspensive de la constitution de la société, prévue à l'article 51 de ses statuts.

Parallèlement, la réalisation des aménagements correspondant aux chutes de la Cure inférieure a été entreprise.

Cette première étape de travaux comporte :

1° La création du barrage réservoir du Crescent;

2° La dérivation des eaux accumulées dans le réservoir du Crescent par un canal à libre écoulement de 7,300 km de longueur environ, jusqu'à l'usine du Bois de Cure, dont la puissance sera de 20 000 kw. La prise d'eau dans le réservoir sera commandée par une usine auxiliaire dont la puissance sera de 1 000 kw;

3° La création du barrage réservoir de Malassis qui jouera dans l'avenir le rôle de bassin de compensation. Une usine auxiliaire dont l'équipement doit être achevé vers fin 1930 sera annexée à ce barrage et sa puissance installée atteindra 1 000 kw environ.

En cours de travaux la production de cette usine sera en totalité réservée à l'alimentation des chantiers de la compagnie;

4° En conformité des accords intervenus entre la Société d'Etudes des Chutes de la Cure et des Chemins de fer électriques de l'Yonne et le Département de la Seine, aux termes d'une convention dont le bénéfice et les charges ont été apportés à la compagnie, le programme des travaux comporte la création du barrage réservoir du Bois de Chaumeçon sur la rivière le Chalaux, en amont du barrage du Crescent.

La mise au point du programme de réalisation a conduit la compagnie à déposer une demande de modification des clauses techniques du cahier des charges annexé au décret de concession. Cette demande est en cours d'instruction au Ministère des Travaux publics.

Après appel à la concurrence, la compagnie a confié l'exécution de ses travaux de génie civil correspondant au programme défini ci-dessus à une association franco-allemande en application du contrat relatif à l'utilisation des prestations en nature passé entre la Société d'Etudes des Chutes de la Cure et des Chemins de fer électriques de l'Yonne et le ministre des Finances, convention qui a été apportée à la compagnie.

Les travaux de génie civil ont été effectivement entrepris dès le 7 septembre 1929 et leur développement se poursuit rationnellement.

D'autre part, après consultation des divers fournisseurs allemands de matériel hydraulique et électromécanique, les marchés correspondant aux principaux matériels nécessaires à l'équipement des usines de Malassis et du Bois de Cure ont été passés et homologués par la Commission des Réparations.

L'ensemble du programme de travaux en cours qui rendra disponible une puissance de 22 000 kw doit être achevé à la fin de l'année 1932.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Frais de constitution	692 373,55
Immobilisations	4 573 161,50
Disponible : caisses et banques	1 377 555,82
Actionnaires	15 750 000 »
Divers débiteurs	14 545,25
Impôts à recouvrer	52 324,45
Avances sur marchés et commandes	23 526 552,80
	45 986 513,37

Passif.

	fr
Capital social	21 600 000 »
Ministère des Finances : service des prestations en nature	23 678 099,82
Créanciers divers	708 413,55
	45 986 513,37

(1) Pour répondre au désir exprimé par l'Association française de Normalisation que les observations qui lui seront adressées expriment l'opinion non d'individualités mais celle de groupements, nous prions ceux de nos lecteurs qui auraient des observations à présenter de bien vouloir les adresser à nos bureaux. Nous les transmettrons à l'Association française de Normalisation après classement et groupement de celles se rapportant au même sujet.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 23. — 6 DÉCEMBRE 1930.

Chronique. — La Semaine de Discussions de la Société française des Electriciens, p. 881. — A propos du Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (septembre 1930), p. 883. — Bibliographie : The selenium cell, its properties and applications (Les propriétés et les applications de la cellule au sélénium), par G.-P. BARNARD, p. 884.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (septembre 1930) (*suite*), p. 885.

Section scientifique et technique. — L'orgue électronique, par A. GIVELET, p. 895. — Les métadynes entre elles et leurs dérivées (*suite et fin*), par J.-M. PESTARINI, p. 900. — Revues, analyses et informations : Décharges plasmoïdales oscillatoires à haute fréquence dans le vide « non conducteur », p. 907 ; La chute de potentiel entre strates dans la décharge électrique traversant l'hydrogène raréfié, p. 907 ; La photoionisation du césium par l'absorption discontinue, p. 908 ; L'effet de champs électriques intenses sur les propriétés photoélectriques des métaux, p. 908.

Section industrielle. — Pompes centrifuges d'alimentation pour chaudières à très haute pression, par G. WEYLAND, p. 909. Revues, analyses et informations : Courants de retour (dans le sol et les canalisations) provenant d'installations à courant alternatif, p. 917.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Arrêt de la Cour de Cassation fixant la juridiction compétente en matière d'indemnités pour implantation de pylônes dans les propriétés privées, p. 919 ; Sur les traitements des fonctionnaires du Bureau international du Travail, p. 919 ; Sur la proportion des frais médicaux et pharmaceutiques devant être remboursée aux assujettis aux assurances sociales, p. 919 ; Sur le cas où les salariés refusent de verser aux employeurs leurs cotisations aux assurances sociales, p. 920. — Sur la contribution patronale aux assurances sociales sur le salaire payé à un ouvrier ayant 65 ans révolus, p. 920 ; Sur la non-possibilité d'imputer sur les bénéfices les pertes antérieures lorsque celles-ci ont été comblées par une réduction du capital social, p. 920.

AVIS : Renouvellement des abonnements. — *Nous prions instamment ceux de nos lecteurs dont l'abonnement expire fin décembre de bien vouloir nous adresser le montant de leur renouvellement pour 1931 (100 fr pour la France, 250 fr pour la Belgique et le Luxembourg, 10 ou 12 dollars, suivant conditions postales, pour tous les autres pays) avant le 15 décembre prochain, date à partir de laquelle nous en ferons faire le recouvrement par la poste pour Paris et les départements (frais de recouvrement en plus, 4,50 fr).*

Les abonnés de France et des Colonies pourront utiliser à cet effet la formule de chèque postal qui a été insérée dans notre numéro du 29 novembre ; les frais ne sont alors que de 0,50 fr.

La septième Semaine de Discussions de la Société française des Electriciens. — Les travaux de la septième Semaine de Discussions de la Société française des Electriciens se sont poursuivis conformément au programme que nous avons annoncé dans un numéro antérieur(1). La première séance, celle du 24 novembre, consacrée aux travaux de la deuxième section, fut inaugurée par M. H. Parodi, ingénieur conseil de la Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans, président de la Société française des Electriciens, qui prononça l'allocution dont nous reproduisons ci-après le texte :

En ouvrant aujourd'hui notre Semaine de Discussions de 1930, je suis heureux de constater que votre affluence nous donne une preuve nouvelle de l'activité avec laquelle les ingénieurs français poursuivent l'étude des innombrables problèmes qui s'imposent à leur attention.

Le développement rapide des industries électriques exige l'application de procédés de calcul de plus en plus précis et l'utilisation de méthodes d'organisation étudiées chaque jour plus profondément, aussi bien pour l'établissement des machines, des usines, des réseaux, que pour leur exploitation même. Ce n'est que par des recherches systématiques effectuées en commun, analogues à celles que nous poursuivons ici, que nous pouvons renouveler et augmenter l'outillage intellectuel dont nous avons tous besoin.

Mon éminent prédécesseur et ami M. Bunet a vu juste et loin quand il a provoqué en 1924 la création de ces discussions annuelles dans lesquelles nous pouvons, en toute simplicité, échanger des idées, préciser des méthodes, comparer des résultats, sans autre préoccupation que celle de nous instruire mutuellement ; certain de suivre la voie tracée par M. Bunet, nous avons convié cette année de nom-

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 15 novembre 1930, t. XXVIII, p. 763 et 153 B.

breux ingénieurs étrangers à prendre part à nos travaux et la bonne grâce qu'ils ont mise à répondre à notre appel, et dont je les remercie, nous est une preuve évidente des progrès qu'ont faits dans ces dernières années, même au delà des frontières, les idées de collaboration et d'union entre ingénieurs ayant les mêmes préoccupations professionnelles.

Le profit que nous pouvons tirer de l'étude des solutions mises au point dans différents pays dans des conditions extrêmement variées peut être très grand et en échangeant des idées avec nos collègues étrangers nous avons pu faire un tour d'Europe, sans interrompre nos occupations quotidiennes. Cette collaboration intellectuelle internationale qui a été pendant longtemps limitée aux recherches scientifiques s'étend de plus en plus dans le domaine professionnel et on peut dire que le développement de l'immense effort d'organisation qui s'affirme actuellement est intimement lié à une conception scientifique de la conduite des affaires industrielles. Ici nous essayons de préciser l'état de nos connaissances sur un certain nombre de questions et nos discussions mêmes font pour ainsi dire le « point technique » en définissant la situation instantanée d'un certain domaine de recherches; nos réunions de cette semaine, comme les réunions analogues tenues ailleurs en France et à l'étranger, jouent dans l'organisation économique de l'industrie électrique le rôle d'un « dispatching technique » d'idées de recherches et de connaissances acquises.

Les pouvoirs publics et les grands groupements industriels utilisent les indications de ce « dispatching technique » en les confrontant avec celles fournies par des « dispatching commerciaux » d'organisation différente, mais de but identique, pour préparer et diriger l'évolution industrielle de demain.

Qu'il y ait encore beaucoup de confusion et même d'incohérence dans cette multitude de conférences, de congrès, de commissions, nul n'en doute, mais c'est par une vision nette du but à atteindre, et la comparaison que je viens de faire l'a peut-être rendu plus apparent, que pourront s'ordonner, se simplifier, se clarifier les organismes disparates qui tendent tous vers un but commun : le développement de l'industrie électrique.

Les rapports qui vont être discutés ici ont une importance particulière tant par le sujet même qu'ils traitent que par la manière dont ils sont présentés; je ne doute pas, étant donné la qualité de nos auditeurs et de nos conférenciers, que la discussion ne soit féconde et instructive. A côté des séances de travail ont été organisées des visites d'usines et d'installations de toutes sortes; le nombre des membres inscrits pour prendre part à ces visites dépasse toutes les prévisions et nous avons dû prendre des dispotions spéciales pour donner satisfaction aux demandes.

Je remercie les personnalités qui ont bien voulu nous faciliter ces visites, et particulièrement MM. Roulleaux, Platet et Schuler de la Banque de France, les administrateurs et directeurs de la Société Nord-Lumière, de l'Union de l'Electricité, de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité, ainsi que la Compagnie Æolian.

Je remercie également les présidents des sections de notre société qui ont, par leur activité inlassable, préparé nos discussions, et notre délégué général, qui a su attirer et organiser tous les concours.

Le moment est venu maintenant de commencer le travail pour lequel nous sommes rassemblés, et je ne doute pas que, grâce à vous, les résultats de cette Semaine de Discussions ne soient aussi profitables à l'avancement de la technique et de la science électriques que les discussions de nos années précédentes.

Au cours des séances de travail qui se sont tenues chaque après-midi et ont été suivies assidûment par un grand nombre d'auditeurs, la plupart des questions inscrites à l'ordre du jour ont fait l'objet de discussions fructueuses. Signalons, en particulier, que parmi les rapports présentés, deux d'entre eux concernaient les travaux de la Commission électrotechnique internationale élaborés lors de la réunion plénière qui se tint en Scandinavie du 27 juin au 9 juillet dernier; c'est ainsi que M. Brylinski exposa les décisions prises au sujet des unités magnétiques et M. Ch. Duval présenta un compte rendu des travaux de réglementation et de normalisation des divers comités d'études.

Ainsi qu'il est d'usage, les matinées de la Semaine de Discussions furent occupées par des visites d'installations industrielles : le poste de transformation à 60 000 v du Nord-Lumière (le Triphasé) à Soisy-sous-Montmorency; l'usine génératrice de Vitry-Sud de l'Union d'Electricité; l'usine génératrice d'Issy-les-Moulineaux (1) et les sous-stations « Vendôme » et « Tolbiac », de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité; le laboratoire de la Compagnie générale de Radiologie, à Asnières; les installations des sous-sols de la Banque de France. Signalons enfin une audition donnée à la salle Æolian avec l'orgue électronique de MM. Coupleux et Givelet, instrument dont la description fait l'objet d'un article publié à la page 895 de ce numéro. Toutes ces visites ont suscité le plus vif intérêt, en particulier l'usine génératrice de Vitry-Sud, qui, dans le domaine de la production thermique de l'énergie électrique, constitue actuellement une réalisation dont l'ampleur et la perfection lui permettront de soutenir avec succès la comparaison avec les grandes usines génératrices d'Europe,

Un dîner qui réunissait dans les salons de la Maison des X plus de cent-vingt personnes, en particulier les présidents et secrétaires des sections, a terminé la Semaine de Discussions. A l'issue du repas, M. Parodi, président de la Société française des Electriciens dans une allocution très applaudie, s'est exprimé en ces termes :

La semaine qui vient de s'achever a été particulièrement féconde en résultats; les conférences et discussions que vous avez entendues, auxquelles vous avez pris part, vous ont permis de recueillir une abondante documentation et de préciser vos idées sur de multiples questions; les visites d'installations que nous avons pu faire, grâce à l'obligeance d'un grand nombre de nos collègues et de nos amis, nous ont permis d'admirer de très ingénieuses, de très puissantes, de « superpuissantes » réalisations.

Mes remerciements et les vôtres s'adressent tout particulièrement à MM. Girousse et Daguerre qui nous ont montré le poste si bien aménagé du Nord-Lumière à Soisy-sous-

(1) L. VELLARD; Les usines génératrices de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité. *Revue générale de l'Electricité*, 17 et 24 mai 1930, t. XXVII, p. 775-786 et 819-830.

Montmorency; à MM. Galatoire-Malegarie et Sartre qui nous ont montré l'usine génératrice d'Issy-les-Moulineaux aux impressionnantes chaudières; à M. Ernest Mercier, qui malgré ses multiples et absorbantes occupations, a trouvé le moyen de nous faire lui-même les honneurs de l'usine génératrice de Vitry-Sud, de l'Union d'Electricité; MM. Cahen et Pilon, dans leur laboratoire de la Compagnie générale de Radiologie, et MM. Givelet et Coupleux, dans le grand hall de la Compagnie Æolian, nous ont permis de voir et d'entendre ce que la ténacité et la patience des ingénieurs peuvent permettre d'obtenir tant au point de vue purement industriel qu'au point de vue artistique.

J'adresse aussi l'expression de ma gratitude à MM. Roulleaux, Platet, Brunet et Bissonnet, et aussi à notre ami M. Schuler qui nous ont fait pénétrer dans l'antre magique où dorment les lourds lingots d'or qui symbolisent la richesse de la France.

Je n'oublie pas non plus MM. Bacqueyrisse et Malherbes, de la Société des Transports en commun de la Région parisienne, qui sont aussi des magiciens, puisque c'est avec des machines non électriques qu'ils nous ont transportés avec la vitesse de l'éclair à nos divers points de rassemblement.

En ce qui concerne nos conférenciers, avant même de les remercier, je constaterai que le plaisir évident qu'ils ont pris à nous exposer leurs idées n'était pas moindre que celui que nous avons goûté à les entendre. Une des caractéristiques de l'effort intellectuel est, en effet, qu'il porte en lui-même sa propre récompense: la jouissance qu'éprouve celui qui invente et qui crée ne résulte pas des avantages de toute nature que peut lui procurer son invention ou sa création, mais du développement même de son effort. Quelle que soit la récompense que nos orateurs aient trouvée en eux-mêmes, je veux y ajouter nos remerciements amicaux en les joignant dans l'expression de notre gratitude aux éminents conférenciers étrangers qui ont bien voulu nous exposer leurs travaux en matière d'électrification des chemins de fer.

Les ingénieurs électriciens, plus peut-être que tous les autres, font mentir le vieux dicton: « il n'y a rien de nouveau sous le soleil », en nous apportant chaque jour une large moisson d'idées, de méthodes, d'applications nouvelles. L'orgueil que nous concevons de ces conquêtes successives ne nous empêche pas de comprendre que les moyens mis en jeu par nous, et qui nous paraissent énormes mesurés à notre échelle de pygmées, ne peuvent encore influer d'une façon appréciable sur la nature impassible ; celle-ci continue son évolution immuable commencée il y a des milliards d'années sans se soucier de nos efforts et de nos vouloirs.

Notre faible humanité est encore dans sa toute première enfance et, malgré sa domination de plus en plus apparente des forces naturelles, elle regarde d'un œil émerveillé un univers qui est encore pour elle rempli de mystères et de périls. De temps à autre une lumière éclate dans l'ombre ancestrale et un grand génie comme un Euclide, un Galilée, un Newton, un Descartes, un Einstein apporte au monde une idée maîtresse.

Une foule de savants, d'ingénieurs, se mettent alors à l'œuvre pour tirer de l'idée créatrice tous les résultats qu'elle contient en puissance ; pendant des décades, des siècles, des millénaires, cette foule chaque jour plus dense et plus pressée monte à l'assaut des montagnes d'erreurs, d'ignorance et de mystère qui nous séparent du domaine de la connaissance et de la vérité.

Cette multiplication des efforts patients et organisés pour l'exploitation des idées mères me rappelle ces vers admirables de la « Fin de Satan » où Victor Hugo essaie de peindre l'évolution générale des grandes forces de l'univers :

Dieu qui ne s'égare point,
Avant d'avoir le nombre exagéra la forme ;
Le monde a commencé par la famille énorme,
Du groupe gigantesque est né le genre humain.
Le bloc d'hier sera tas de pierres demain ;
Un géant tient d'abord la place d'une foule,
Et comme la nuée en gouttes d'eau s'écroule
De génération en génération
Il s'amoindrit, pullule et devient nation
Et Dieu fit le colosse avant la fourmilière.

C'est vous, Messieurs, qui êtes cette fourmilière intellectuelle dont le labeur opiniâtre et fécond continue celui des Coulomb, des Ampère, des Faraday, des Maxwell et c'est grâce à vous que chaque jour, nous atteignons à une compréhension plus haute de notre univers, en même temps que nous nous assurons une domination plus efficace de la nature.

Ajoutons en terminant que ce discours fut suivi d'une présentation par M. Ed. Ragonot, président de la Société amicale des Ingénieurs diplômés de l'Ecole supérieure d'Electricité, de vues prises au cours du récent voyage qu'il fit en Serbie à l'occasion de l'inauguration du Monument de la Reconnaissance serbe. Après cette causerie, il fut donné une audition de l'orgue électronique de MM. Coupleux et Givelet, audition transmise par téléphonie, qui permit à l'auditoire d'apprécier la valeur artistique de cet instrument. — L. V.

A propos du Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (septembre 1930). — Dans notre numéro du 15 novembre 1930, pages 765 à 768, ont été publiés les textes des discours prononcés à la séance d'ouverture de ce Congrès par M. Lechien, président de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'énergie électrique, et par M. van Caeneghem, ministre des Travaux publics de Belgique. Le Secrétariat de l'Union précitée vient de nous faire parvenir le texte de l'allocution prononcée à cette même réunion solennelle par M. Marcel Ulrich, président du Syndicat français — et qui devait devenir quelques jours plus tard président de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique — chargé de remercier les Belges de leur accueil, au nom des congressistes étrangers.

Après avoir salué respectueusement M. le ministre van Caeneghem et rappelé qu'il avait eu l'honneur de le recevoir en France quelques mois auparavant au cours d'un voyage d'études, M. Ulrich félicita spécialement M. Lechien des soins avec lesquels il avait préparé le Congrès de Bruxelles, couronnement de l'œuvre accomplie par lui au cours des deux années pendant lesquelles ses collègues avaient si hautement apprécié l'autorité de sa présidence.

M. Ulrich ajouta :

Le meilleur moyen de témoigner à des amis l'affection qu'on leur porte, c'est de se trouver à leurs côtés quand ils ont l'occasion de fêter un anniversaire qui leur est particulièrement cher ; c'est pourquoi, après l'inoubliable Congrès de Rome, solennellement inauguré dans l'illustre capitale par l'éminent président Ponti, après le Congrès de Paris, dont le souvenir est encore si vivant en nous, lorsque l'Union des Exploitations électriques en Belgique nous a invités à tenir notre troisième congrès à Bruxelles à une date coïncidant avec le centenaire de l'indépendance de ce noble pays, c'est avec un véritable enthousiasme que le choix de cette ville a été confirmé.

Laissez-moi rappeler que, pour ceux d'entre nous qui viennent de France, la Belgique est la nation sœur et qu'il leur est impossible d'exprimer par des mots l'émotion profonde qui les saisit lorsqu'ils mettent les pieds sur son sol et lorsqu'ils évoquent tant de souvenirs impérissables. Mais je suis bien certain que pour tous nos collègues, au nom desquels j'ai le très grand honneur de m'exprimer ici, la Belgique est également un pays qu'ils considèrent comme entièrement digne, non seulement de leur plus affectueuse sympathie, mais aussi de leur plus vive admiration. Ce n'est pas seulement la terre classique d'une hospitalité à la fois simple et cordiale, universellement connue ; c'est aussi un pays de labeur tenace et de constant progrès matériel et social, qui peut être donné en exemple à toutes les nations.

La Belgique a employé le siècle qui vient de s'écouler d'une manière tellement fructueuse et féconde qu'elle a su gagner dans le monde entier une autorité de tout premier ordre par l'élévation de ses vues et la noblesse de ses sentiments. L'industrie de la production de l'électricité, qui nous intéresse spécialement, s'est développée en Belgique, surtout depuis quelques années, dans des proportions telles que ce pays peut être pratiquement considéré comme complètement électrifié à l'heure actuelle. La population des communes qui ne jouissent pas encore d'une distribution publique d'énergie représente à peine 2 pour 100 de la population totale et l'on peut espérer que ces dernières lacunes, si réduites, dans l'électrification générale du pays, disparaîtront au cours de cette année même ; ainsi les électriciens auront la fierté de faire coïncider l'achèvement complet de leur œuvre avec l'année du glorieux Centenaire de l'Indépendance nationale.

C'est là un résultat dont ils peuvent être légitimement fiers et dont nous tenons à les féliciter publiquement au nom de leurs collègues étrangers.

Nous n'ignorons pas les obstacles qu'ils ont dû surmonter et les difficultés qu'ils ont dû vaincre ; mais ils n'ont jamais connu, fût-ce même aux heures difficiles d'une crise économique douloureuse, la moindre défaillance et ils ont toujours réussi, malgré leurs très lourdes charges, à assurer les services publics dont ils ont la responsabilité et dont le fonctionnement régulier présente une telle importance pour la vie économique et sociale tout entière.

Qu'il me soit permis d'ajouter que les distributeurs d'énergie électrique belges font bénéficier les consommateurs, industriels et privés, de leur pays, de tarifs de vente du courant particulièrement bas et qu'ils ont le droit de demander à leurs clients de leur rendre justice à cet égard.

La Belgique est un pays dont la densité de population est, de beaucoup, l'une des plus fortes de l'Europe. Cette population est à peu près pour moitié industrielle et pour moitié agricole. L'importance de l'œuvre de l'électrification du territoire et du bon fonctionnement du service de distribution de l'énergie électrique s'y trouve donc tout spécialement accentuée. Les résultats auxquels nos collègues belges sont arrivés, et que je viens de rappeler, sont dus presque entièrement aux efforts et à la largeur de vues de leurs sociétés, qui ont su d'elles-mêmes faire les sacrifices nécessaires, en un mot à l'initiative privée.

N'avais-je pas raison, Messieurs, de dire que nous trouverons tous ici de véritables exemples à méditer ?

Nul cadre, nulle atmosphère, ne pourraient être plus favorables aux travaux d'un Congrès comme le nôtre. C'est donc avec la confiance la plus absolue dans les fruits que porteront nos discussions que nous allons aborder nos séances de travail et que nous visiterons les usines, les établissements industriels et les deux magnifiques expositions d'Anvers et de Liége où nos amis belges voudront bien nous conduire.

C'est aussi avec l'intérêt le plus vif et le pieux recueillement qui convient en présence des grands souvenirs de l'histoire, si nombreux sur le sol de la libre Belgique, que nous effectuerons les autres excursions auxquelles nous sommes si gracieusement conviés.

M. Ulrich termina son allocution en rappelant en termes éloquents le sens si noble et si élevé de la belle devise de la nation belge : « l'union fait la force ». Ce discours fut très applaudi, comme le fut le lendemain celui d'un autre de nos compatriotes, M. Genissieu, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, chef du Service central des Forces hydrauliques et des Distributions d'Energie électrique au Ministère des Travaux publics, discours dont nous avons également reproduit le texte dans notre numéro précité et qui a été prononcé, comme nous l'avons dit, au nom de tous les congressistes, au banquet offert le 5 septembre par la Société de Traction et d'Electricité.

Bibliographie : The selenium cell, its properties and applications (Les propriétés et les applications de la cellule au sélénium), par G.-P. Barnard (1). — L'auteur retrace d'abord l'historique de la découverte du sélénium dont il rappelle les propriétés chimiques. L'exposé des procédés de construction des cellules et leur classification font l'objet d'un chapitre important. Les propriétés physiques, celles dont résultent les principales de ses applications, constituent la matière des deux chapitres suivants. Cette première partie se termine par l'exposé de théories relatives à l'action de la lumière sur le sélénium.

La deuxième partie, consacrée aux applications pratiques, traite, après quelques généralités, de l'emploi de la cellule au sélénium dans les mesures photométriques, la transformation des images en sons (optophone de Fournier d'Albe), les films parlants, la téléphotographie et la télévision.

Une importante bibliographie termine chacun des chapitres de cet ouvrage qui montre nettement combien vaste est le champ d'applications des cellules photoélectriques. — R. G.

(1) Un volume, format 25,5 cm × 18,5 cm, de 331 pages, avec 258 figures dans le texte, édité par la librairie Constable and Co, 10 et 12, Orange street, à Londres W. C. 2. Prix : relié, 35 shillings.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique (Septembre 1930) (*Suite*) (*)

III. Mise à la terre du neutre dans les réseaux à haute et à basse tension

Cette importante question a fait l'objet de deux rapports dont nous donnons ci-après les résumés : l'un présenté par M. U. del Buono au nom de l'Unione nazionale fascista Industrie elettriche, l'autre établi par la Compagnie lorraine d'Electricité.

I. **La mise à la terre du neutre dans les réseaux à haute et à basse tension.** Rapport de U. del Buono. — Ce rapport, de six pages de texte, présenté par l'Unione nazionale fascista Industrie elettriche, contient quelques conclusions préliminaires d'une enquête faisant partie du programme tracé par une commission instituée par cet organisme dans le but d'étudier les problèmes afférents à la mise à la terre du point neutre dans les installations électriques. Les questions posées dans cette enquête visent : 1° l'économie et la sécurité de première installation; 2° la sécurité et la continuité de l'exploitation; 3° les influences perturbatrices sur les lignes de télécommunication ; 4° les dangers pour les personnes.

1. Economie des dépenses de première installation et sécurité. — Les membres de la commission précitée sont d'avis qu'en reliant le neutre d'une installation à la terre, il est possible de réaliser une légère économie par suite de la réduction d'isolation des appareils, mais qu'il est préférable de renoncer à cette manière de faire, dans le but d'accroître le degré de sécurité et aussi afin de pouvoir poursuivre l'exploitation dans le cas où le point neutre est isolé.

2. Sécurité et continuité de l'exploitation. — Sur ce point les avis sont partagés : un certain nombre d'exploitants prétendent qu'avec le neutre isolé ils n'ont pas eu de perturbations à relever et que les mises à la terre accidentelles et temporaires permettent de maintenir la continuité de service; les autres exploitants, au contraire, affirment qu'il est impossible de continuer l'exploitation en cas de mise à la terre et, qu'en conséquence, il est préférable d'avoir le neutre relié à la terre pour diminuer l'importance des surtensions.

On a rappelé aussi l'avantage de la mise à la terre du neutre relativement à l'installation de relais sélectifs.

Au point de vue des installations existantes, on peut affirmer que la pratique varie suivant les tensions de service adoptées : au-dessus d'une tension de 50 à 60 kv, la majorité des techniciens est en faveur de la mise du neutre à la terre ; les installations entre 50 000 et 300 v, par contre, sont en général avec neutre isolé, tandis que pour des tensions de distribution (au-dessous de 300 v environ) il n'y aurait pas une tendance nettement définie vers l'une ou l'autre de ces deux dispositions.

Au point de vue de la disposition la plus avantageuse pour l'exécution des terres, la majorité des exploitants paraît être favorable à la mise à la terre directe du point neutre, sans intermédiaire de résistances ni d'inductances, à l'exception des cas où de forts courants de court-circuit sont à craindre ; la pratique est alors d'intercaler dans les connexions à la terre des résistances d'une valeur modérée.

L'emploi de bobines de Petersen pour la mise à la terre s'est peu répandu en Italie et les données expérimentales font défaut à ce sujet.

3. Influences perturbatrices sur les lignes de télécommunication. — La méthode consistant à éloigner les lignes à courants faibles pour les soustraire à l'influence perturbatrice des lignes à haute tension ne peut être ni générale ni définitive en raison du nombre toujours croissant de ces dernières. Des mesures de protection des lignes et des installations télégraphiques et téléphoniques concernent les sociétés d'exploitation et la question doit être sérieusement approfondie. Quant à la coexistence possible des lignes de télécommunication et des lignes de transmission d'énergie, ce point n'est pas encore suffisamment éclairci et demande un supplément d'informations.

4. Dangers pour les personnes. — Cette question ne peut évidemment être discutée que dans le cas de basses tensions.

Les données statistiques sur les accidents aux personnes, qui se produisent dans les réseaux de distribution, sont assez contradictoires et, en tout cas, insuffisantes pour pouvoir établir d'une façon précise si le neutre à la terre réduit ou non les risques. La question du danger pour les personnes est d'ailleurs trop importante pour qu'on puisse l'examiner seulement

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 22 et 29 novembre 1930, t. XXVIII, p. 803-812 et 843-850.

d'un point de vue général et théorique. On ne saurait affirmer qu'il existe pour les tensions employées dans la pratique courante, indépendamment des conditions théoriques, une différence réelle de danger ; l'effet produit sur la personne accidentée dépend de plusieurs causes, telles que la résistance de contact de la main et des pieds et la résistance du sol, résistances qui sont extrêmement variables avec le degré d'humidité ; le danger dépend encore de la résistance proprement dite du corps de l'individu, de ses conditions physiologiques, etc. Pour toutes ces raisons, il est impossible, jusqu'à présent, de décider en faveur de l'une ou de l'autre solution.

5. Questions diverses. — La commission précitée a encore examiné les questions relatives au choix des points neutres à mettre à la terre et à la meilleure disposition quant à l'exécution des prises de terre. Les opinions sur ces deux points sont encore très partagées ; toutefois, ladite commission est d'avis que, sous le rapport des perturbations engendrées sur les lignes de télécommunication, il est préférable de relier un seul point neutre à la terre.

Elle a aussi remarqué que jusqu'ici, les résultats de l'exploitation avec ou sans neutre à la terre ne sont pas comparables, car ils se rapportent à des installations différentes et elle a exprimé l'avis que pour décider sur les avantages et réciproquement les inconvénients de la mise à la terre du neutre, il faudra attendre les résultats de l'expérience pendant quelques années. Elle a mis en évidence aussi, à ce sujet, l'opportunité d'essais et de recherches systématiques.

Le rapport se termine par l'exposé des diverses réponses émanant des associations étrangères affiliées à l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique.

II. **La mise à la terre du neutre sur son réseau 65 000 volts.** Rapport de la Compagnie lorraine d'Electricité. — Ce rapport, de trois pages de texte, a trait aux résultats observés sur le réseau à 65 000 v de la Compagnie lorraine d'Electricité depuis l'époque à laquelle a été réalisée la mise à la terre du neutre.

Jusqu'en 1922, le réseau à 65 000 v de la Compagnie lorraine d'Electricité a fonctionné avec neutre isolé du sol, la protection contre les charges statiques étant réalisée au moyen de limiteurs à jets d'eau ou à tubes d'eau. Dans ces conditions, lorsqu'un défaut franc se produisait entre une phase et la terre, les isolateurs des deux autres phases devaient supporter la tension composée. Toutefois, lorsqu'un second défaut survenait sur une de ces dernières, il se produisait des avaries parfois très graves, telles que des explosions de disjoncteurs ou des amorçages d'arc sur les transformateurs.

Dans le cas d'amorçage d'un arc à la terre, on n'observait pas de surtensions importantes ; mais le maintien de l'arc provoquait la fusion des conducteurs au bout d'un certain temps. L'avantage de cette disposition était de pouvoir continuer le service dans le cas où une des phases était à la terre ; mais de telles conditions de fonctionnement étant anormales, on risquait de provoquer la coupure d'un fil de ligne ; ces considérations ont donc amené la Compagnie lorraine d'Electricité à envisager en 1922 le fonctionnement de son réseau avec mise à la terre du neutre.

Le rapport expose les essais qui furent exécutés à l'époque à l'usine de Vincey. A cet effet, le point neutre d'un transformateur de 7 500 kv-a fut relié à une plaque métallique de 50 cm × 50 cm immergée dans le canal d'évacuation de l'usine. En 1923, on utilisa une résistance de l'ordre d'une cinquantaine d'ohms, en série avec une prise de terre constituée par des plaques métalliques formant une surface de 20 m² et des grillages enterrés entre 2 et 3 m de profondeur pour former une surface de 40 m². Un transformateur de courant était placé sur la canalisation du neutre et alimentait un ampèremètre enregistreur et le relais d'une sonnerie.

Après diverses modifications de ce dispositif, on décida, en 1925, de réduire à 4 ohms la résistance de sécurité et de la constituer par des grilles en fonte. Cette résistance est encore en service et donne entière satisfaction.

En 1926, une seconde résistance semblable fut constituée par des éléments identiques de 55 mm² de section à raison de 6 lames par grille, ce qui permet l'entretien de la première résistance installée.

En raison des fusions fréquentes des fusibles des lignes téléphoniques, survenant lors du passage du courant dans la connexion de mise à la terre du neutre la Compagnie lorraine d'Electricité a décidé de réaliser une nouvelle prise de terre située à environ 250 m des lignes téléphoniques et des bâtiments. Cette prise de terre est constituée par 33 plaques de tôle galvanisée de 2 m × 1 m et enterrée à 2 m de profondeur ; elles sont réparties régulièrement sur une circonférence de 30 m de diamètre et sont connectées en trois groupes de onze ; trois conducteurs enterrés et reliés à chacun de ces groupes viennent se raccorder à l'extrémité de la résistance de sécurité, d'une valeur de 4 ohms, réalisée par 250 grilles de fonte galvanisée comportant 6 lames de 130 mm, placées en série et montées sur isolateurs à l'air libre. Ces grilles peuvent supporter un courant d'une intensité de 560 ampères pendant trente secondes sans échauffement anormal.

Le courant débité par le point neutre atteint parfois 500 ampères au moment de l'amorçage d'un arc ; il tombe presque aussitôt à 200 ou 300 ampères jusqu'à ce que le relais intéressé déclenche.

En résumé, depuis la mise à la terre du neutre sur le réseau à 65 000 v de la Compagnie lorraine d'Electricité, il a été constaté : 1° Que le nombre d'amorçages d'arc sur les isolateurs a été réduit de plus de moitié ; 2° Que les cas de rupture des conducteurs par arc à la terre ont sensiblement diminué ; 3° Qu'en période orageuse, le nombre d'incidents a considérablement diminué.

III. **Discussion.** — M. G. Silva (Italie) donne des ren-

seignements précis sur l'expérience de mise du neutre à la terre réalisée sur des lignes de grande longueur du nord de l'Italie.

Après divers échanges de vues, M. Busila, qui présidait cette séance, constate l'accord pour estimer qu'il faut tâcher d'établir une collaboration entre les exploitants de lignes à haute tension et ceux des lignes de télécommunication. — L. V.

IV. La marche en parallèle des usines génératrices

Cette question avait déjà fait l'objet d'un certain nombre de rapports présentés au Congrès de Paris, en juillet 1928, de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (1) et, comme le fait remarquer le rapporteur général, M. H. Niesz, « les travaux qu'apportent à ce présent congrès la Compagnie lorraine d'Electricité, M. J. Ibler et M. Roncaldier, complètent la documentation précédente en l'enrichissant soit par les résultats de l'expérience, soit par l'exposé analytique du problème de la stabilité dans la marche en parallèle, soit enfin par un tableau d'ensemble de l'état actuel de la question de l'interconnexion ». Tels sont les trois points de vue envisagés dans les rapports précités et sur lesquels s'étend également le rapporteur général.

I. **La marche en parallèle des centrales électriques.** Rapport général de H. Niesz, vice-directeur de la Motor Columbus, Société anonyme d'Entreprises électriques, à Baden (Suisse). — Ce rapport, de vingt-cinq pages de texte, comprend deux parties, l'une relative à la stabilité de la marche en parallèle, l'autre, aux conditions requises pour le maintien et la nécessité du fonctionnement en parallèle.

1. La stabilité de la marche en parallèle. — En traitant cette question, qui est développée, comme nous venons de le dire, analytiquement dans le rapport de M. Ibler, le rapporteur général la caractérise en quelque sorte ; s'inspirant de travaux récents, qu'il s'agisse, de publications dans les revues techniques ou de communications présentées soit aux Conférences internationales des grands Réseaux électriques à haute Tension, soit à la dernière Conférence mondiale de l'Energie, il cherche à déduire des règles pratiques, des données utiles à l'exploitant sur les conditions et les limites de cette stabilité. Voici d'ailleurs le résumé des résultats de ce travail de mise au point auquel s'est livré M. Niesz. Il considère un circuit constitué par deux alternateurs reliés chacun à un transformateur, ces deux transformateurs étant connectés entre eux par une ligne qui transmet l'énergie des bornes d'un alternateur à celles de l'autre alternateur.

1° *La limite statique de stabilité.* — Cette limite dépend évidemment des constantes des installations et des tensions adoptées. Les constantes qui abaissent la limite statique sont la réactance des circuits et, à un moindre degré, leur résistance. D'autre part, la limite statique dépend du carré de la tension aux bornes des alternateurs, cette tension étant maintenue constante par la fourniture de l'énergie réactive nécessaire. Mais le rapporteur ne croit pas devoir s'étendre davantage, car, ainsi qu'il le fait remarquer, deux raisons essentielles enlèveront à cette notion de limite statique tout intérêt, sinon théorique, au moins pratique : à cause de l'importance des pertes d'énergie, la puissance limite est généralement très supérieure à celle que peut transmettre le circuit considéré dans des conditions normales au point de vue économique, et non au simple point de vue de l'échauffement des conducteurs ; d'autre part, un système tel que celui considéré n'est jamais à l'état statique, il est toujours le siège d'oscillations.

2° *La limite dynamique de stabilité.* — Ce cas est celui d'un régime constant sous tous les rapports, sauf en ce qui concerne la puissance qui est sujette à de brusques variations, d'où résultent des oscillations. Si l'on considère le fonctionnement d'un alternateur, le couple moteur tend à accroître l'angle γ que forment les directions du champ du stator et de celui du rotor jusqu'à ce qu'il soit équilibré par le couple résistant ; celui-ci étant proportionnel à sin γ ; la puisssance passe donc par un maximum si γ est égal à 90° pour les rotors lisses et à 110° pour ceux à pôles saillants. Si le couple moteur continue à augmenter, le couple résistant diminue et l'équilibre est rompu, d'où le décrochage. Or, si l'on tient compte des oscillations, « il semble que, pour réserver une marge suffisante de stabilité, il ne faille pas dépasser, pour la puissance à transmettre normalement, un angle γ total de 40 à 50° entre les vecteurs de tension interne des alternateurs de départ et d'arrivée ».

Dans le tableau I sont indiqués quelques nombres relatifs aux puissances transmissibles dans des conditions déterminées, d'après le rapport de Rüdenberg

Tableau I. — *Puissances transmissibles sur une ligne triphasée en mégawatts, à 50 périodes par seconde.*

TENSION ÉGALE AUX DEUX EXTRÉMITÉS	LONGUEUR DE LIGNE AÉRIENNE				
	50 km	100 km	200 km	400 km	800 km
50 kv	27	14			
100	110	55	28	14	
150	250	125	62	31	15
200	440	220	110	55	28
400	1 750	880	440	220	110

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 1er septembre 1928, t. XXIV, p. 299-303.

présenté à la deuxième Conférence mondiale de l'Energie (Berlin, 1930).

On remarque que pour une tension donnée U, le produit de la puissance transmissible par la longueur l de la ligne est constant. Si U est donné en kilovolts, l, en kilomètres et la puissance P, en mégawatts, on a

$$Pl = 0{,}55\ U^2.$$

A ce propos, M. Niesz rappelle le « principe de Baum » suivant lequel, pour transmettre une puissance supérieure à la limite fixée d'après les règles qui précèdent, on peut assurer la constance de la tension en plusieurs points de la ligne, qui est ainsi décomposée en tronçons, et l'on applique à chacun de ces tronçons la règle énoncée ci-dessus. Avant de songer à appliquer ce principe, dont l'efficacité n'est pas discutable, il y aura lieu de choisir une tension aussi élevée que possible, et qui soit néanmoins compatible avec le point de vue économique; de plus, il importe que cette tension soit maintenue constante.

3° *La stabilité en régime perturbé.* — Ce régime diffère du précédent par le fait que les éléments caractéristiques du circuit, réactances, champ dans l'entrefer des alternateurs, etc., subissent de brusques variations qui modifient les conditions de fonctionnement et de stabilité. Quelle que soit la cause de la perturbation, la stabilité sera maintenue par le renforcement en quelque sorte des procédés adoptés pour assurer la stabilité en régime normal, en particulier pour maintenir la tension constante ; en même temps, bien entendu, toutes les dispositions sont prises pour réduire les effets de la perturbation. A ce propos, le rapporteur fait remarquer que, dans le cas de la mise à la terre d'un conducteur, la compensation du courant passant au sol par des bobines d'inductance, suivant la solution de Petersen, est tout indiquée pour que la stabilité soit maintenue.

2. La marche en parallèle des usines génératrices a courant triphasé et leur équipement. — Le rapporteur traite des conditions auxquelles doit satisfaire le matériel destiné à l'équipement des usines génératrices destinées à fonctionner en parallèle avec d'autres usines.

1° *Equipement mécanique.* — Une première condition imposée aux machines motrices est la constance du couple moteur tant que le couple résistant est lui-même constant. Cette condition entraîne l'abandon progressif de la marche en parallèle des moteurs à gaz de hauts fourneaux, à cause des variations apériodiques du couple que développent ces moteurs, variations dues aux irrégularités de la qualité et de la pression du gaz, à l'encrassement et à l'extrême tendance au déréglage.

On préfère maintenant utiliser les gaz de hauts fourneaux en les brûlant dans des foyers spéciaux pour le chauffage de l'eau dans les usines génératrices à vapeur.

La variation de la charge globale d'un système de plusieurs machines en parallèle se traduit par une diminution de fréquence et la surcharge se répartit entre les divers groupes, tout d'abord proportionnellement à leurs énergies cinétiques respectives qui ne sont pas proportionnelles à leur puissance nominale. Lorsque le régulateur intervient, la répartition de la variation de la charge entre les groupes est en raison directe de leur puissance et en raison inverse de leur statisme, le statisme étant défini comme étant le rapport de la différence des vitesses à vide et en pleine charge à la vitesse moyenne du groupe. Or, on augmente la stabilité en augmentant l'inertie des machines et en adoptant pour le statisme une valeur qui ne soit pas trop faible, soit voisine de 0,03 à 0,04 pour les machines hydrauliques et un peu plus élevée pour les machines thermiques. La question des régulateurs mérite aussi d'être examinée de très près ; il résulte des considérations développées à ce sujet dans le rapport qui nous occupe que les régulateurs doivent avoir un statisme réglable pendant la marche du groupe, de façon que l'appareil puisse être adapté aux conditions particulières de fonctionnement du système, conditions qui varient d'un instant à l'autre. D'ailleurs, il y aurait une tendance, encore peu marquée, mais qui est préconisée par certains auteurs, à substituer au réglage individuel de chacun des groupes ou de chacune des usines en parallèle un réglage commun à l'ensemble des machines en parallèle, solution dont l'application sera facilitée par le développement des dispositifs électriques de commande à distance.

2° *Equipement électrique.* — A ce sujet, l'auteur donne un aperçu des conditions que doit remplir le matériel électrique dans le cas des interconnexions de réseaux et de la façon dont doivent être conçues ces interconnexions. Au point de vue de la fréquence, il y a un réel intérêt à adopter la même fréquence ; tout changement de fréquence au point de couplage de deux réseaux entraîne des sujétions que ne justifie pas l'avantage éventuel de deux fréquences différentes. Les machines, alternateurs et transformateurs, seront en nombre aussi réduit que possible, de puissance unitaire élevée, chaque alternateur formant avec le transformateur correspondant un ensemble. Cette solution est dictée par la recherche de la simplicité, qui doit tenir une première place dans la conception de telles installations.

Au point de vue de la protection, le rapporteur préconise la mise à la terre du neutre par l'intermédiaire de bobines d'inductance et l'adoption de relais sélectifs à distance. Enfin, il souligne l'intérêt que présente, pour la solution d'un grand nombre de problèmes soulevés par l'interconnexion des réseaux, le développement de la télémétrie et de la transmission à distance des signaux et des manœuvres de commande.

II. **La marche en parallèle des centrales.** Rapport de la Compagnie lorraine d'Electricité. — Dans ce rapport de cinq pages de texte sont réunis des renseignements d'exploitation du réseau de la compagnie précitée fonctionnant en parallèle avec d'autres réseaux.

1. Données relatives aux réseaux interconnectés. — Le réseau de transmission à 65 000 v de la Compagnie lorraine d'Electricité est constitué par une grande boucle orientée dans sa plus grande longueur du nord-ouest au sud-est, la station de Laneuveville, à 5 km de Nancy, en étant le point le plus au nord et la partie sud alimentant les régions de Saint-Dié et Epinal. Cette boucle est traversée, d'une part, par deux lignes transversales sur mêmes appuis, reliant l'usine génératrice principale de Vincey à l'une des sous-stations de la boucle, d'autre part, par la ligne d'Etat Vincey-Laneuveville-Landres, prévue pour 120 000 v, exploitée actuellement sous 65 000 v. D'un autre point de la boucle part une artère qui alimente les régions de Toul, Commercy et Verdun.

Les deux usines génératrices de la Compagnie lorraine d'Electricité sont situées, l'une à Vincey (Vosges), à 50 km au sud de Nancy, l'autre à Nancy. La puissance de la première est de 38 000 kw; celle de Nancy, plus ancienne, peut produire actuellement 10 000 kw. Elle est reliée à Laneuveville par un réseau souterrain à 5500 v. L'alimentation du réseau est assurée, en outre, par un certain nombre d'usines génératrices marchant en parallèle avec celles de la Compagnie lorraine d'Electricité; à savoir : à la sous-station de Pouxeux aboutit une ligne qui amène l'énergie hydraulique en provenance de Suisse, de la Société Motor Columbus, de Baden; à Laneuveville arrivent, d'une part, une ligne de transmission d'énergie en provenance des mines de La Houve, d'autre part, la ligne d'Etat dont il est parlé ci-dessus, qui transmet l'énergie en provenance des houillères de Petite Rosselle et de la Société électrique de la Sidérurgie lorraine ; l'artère qui se détache de la boucle vers Toul relie en outre le réseau à l'usine génératrice de Saint-Dizier, de la Société Energie électrique de Meuse-et-Marne.

La Compagnie lorraine d'Electricité est liée par des contrats à ces différents fournisseurs. Les puissances faisant l'objet de ces contrats sont les suivantes : Motor Colombus, 15 000 kw; Société alsacienne et lorraine d'Electricité (Mines de la Houve), 3 000 kw; Société électrique de la Sidérurgie lorraine, 11 000 kw; Houillères de Petite-Rosselle, 5 000 kw ; secteur électrique, Millery, 1 000 kw.

Un contrat de fourniture réciproque de secours lie la Société Energie électrique de Meuse-et-Marne et la Compagnie lorraine d'Electricité. Toutes ces usines marchent en parallèle et débitent tant sur le réseau respectif des sociétés auxquelles elles appartiennent que sur le réseau de la Compagnie lorraine d'Electricité, à l'exception de la Motor Columbus, qui assure sa fourniture à l'aide de machines séparées. Réciproquement, les usines de la Compagnie lorraine d'Electricité peuvent également être amenées à fournir de l'énergie de secours à l'un ou l'autre de ses fournisseurs.

2. Répartition de la puissance et réglage de la tension. — Etant donné l'autonomie et l'indépendance que conservent les entreprises auxquelles appartiennent les réseaux interconnectés, ces entreprises devant assurer la distribution chacune sur son réseau respectif, il n'a pu être question d'un poste répartiteur central. La méthode adoptée pour la répartition de la charge consiste à établir périodiquement des programmes de fourniture, solution qui ne permet évidemment pas de tirer tout le parti des avantages que présente l'interconnexion. Aux difficultés que présente l'exploitation des réseaux dans ces conditions s'en ajoute une d'ordre technique, résultant de la présence des groupes générateurs commandés par des moteurs à gaz et qui, comme l'a relevé le rapporteur général, réduisent la stabilité dans la marche en parallèle. En ce qui concerne la Compagnie lorraine d'Electricité, c'est l'énergie hydraulique transmise de Suisse qui sert de base au diagramme de charge de son réseau.

Le réglage de la tension, auquel est liée la question de l'énergie réactive mise en jeu, devient un problème délicat, lorsque l'échange d'énergie se fait indifféremment dans un sens ou dans l'autre. Chaque centre d'alimentation a le moyen de régler sa propre tension dans des limites déterminées, celles-ci étant fixées pour que l'énergie réactive produite par le centre considéré corresponde à l'énergie active, pour un facteur de puissance donné. Les contrats entre la Compagnie lorraine d'Electricité et la Société alsacienne et lorraine d'Electricité, d'une part, et la Société électrique de la Sidérurgie lorraine, d'autre part, contiennent précisément une clause relative à l'énergie réactive, qui fixe les limites du facteur de puissance de l'énergie fournie.

3. Sécurité. — La mise à la terre du neutre est réalisée en un point du réseau de la Compagnie lorraine d'Electricité; mais, cette mesure n'étant pas générale sur tous les réseaux interconnectés ne présente pas tous les avantages que l'on pourrait en attendre.

Ici encore, l'indépendance des sociétés dont les réseaux sont interconnectés soulève des difficultés dans la bonne marche de l'ensemble de l'interconnexion, difficultés qui ne sont résolues que grâce à la bonne volonté de chacun et aux bonnes relations entre les entreprises intéressées.

III. **Les conditions techniques pour la marche en parallèle des usines centrales.** Rapport de Jaroslav Ibler, ingénieur en chef à la Société Vychodoceské elektrarny. — Ce rapport, de treize pages de texte, avec huit figures dans le texte, traite de deux questions, celle de la stabilité et celle de la répartition de la charge.

La première question est envisagée ici à un point de vue analytique; l'auteur établit les relations entre les grandeurs électriques et mécaniques qui définissent le système pour en déduire les conditions de stabilité. Nous retiendrons les résultats suivants : d'abord, en ce qui concerne la répartition de la variation de la charge entre deux machines ou deux usines en parallèle, si P_{x1} et P_{x2} représentent la variation de la puis-

sance de chacun des deux éléments en parallèle, pour une variation de charge totale P_x telle que

$$P_{x1} + P_{x2} = P_x,$$

on a

$$P_{x1} = \frac{P_x}{\frac{P_1}{\Delta n_1} + \frac{P_2}{\Delta n_2}} \frac{P_1}{\Delta n_1} \quad \text{et} \quad P_{x2} = \frac{P_x}{\frac{P_1}{\Delta n_1} + \frac{P_2}{\Delta n_2}} \frac{P_2}{\Delta n_2},$$

où P_1 et P_2 sont les puissances des deux éléments en parallèle, Δn_1 et Δn_2, les variations constantes de la vitesse que permet de régler le régulateur. Ces puissances supposent négligeable l'impédance des connexions entre machines en parallèle; si tel n'est pas le cas et si L_1 et L_2 sont les inductances respectives des deux machines et du circuit les reliant entre elles, on a les expressions dues à Lindblom, que l'auteur rappelle

$$P_{x1} = \frac{k\Delta P_1 + \Delta P_2 \left(\frac{P_1}{P_2}\right)}{k \frac{P_1}{\Delta n_1} + \frac{P_2}{\Delta n_2} \frac{P_1}{P_2}} \frac{P_1}{\Delta n_1},$$

et une formule analogue pour P_{x2}, où

$$\Delta P_1 = \frac{L_1}{L_1 + L_2} P_x \quad \text{et} \quad \Delta P_2 = \frac{L_2}{L_1 + L_2} P_x,$$

$$k = \frac{\sin(\beta + \gamma_0)}{\sin(\beta - \gamma_0)} \frac{P_1}{P_2},$$

β étant l'angle défini par $\operatorname{tg} \beta = \frac{L\omega}{R}$, où $L\omega$ et R représentent la réactance d'induction et la résistance de l'ensemble constitué par la ligne, les alternateurs et les transformateurs, tandis que γ_0 définit le déphasage relatif des tensions aux bornes des deux alternateurs avant la variation de charge.

En ce qui concerne l'influence de la résistance des induits des alternateurs en parallèle, elle est contraire à celle du circuit amortisseur qui, ainsi que le fait ressortir le rapporteur, augmente la stabilité à la condition que son action s'ajoute à celle du couple synchronisant. On a constaté que les oscillations augmentent si l'on a

$$\left(\frac{U_1}{U}\right)^2 \frac{R}{L\omega} \geqq 0{,}06,$$

où U et U_1 sont les tensions au départ et à l'arrivée, R et $L\omega$ ayant la même signification que ci-dessus.

Rappelons enfin que les considérations développées par M. Ibler sur la stabilité ont servi de base aux conclusions du rapport général de M. Niesz dont le compte rendu est donné plus haut.

Nous n'insisterons pas sur la deuxième partie du rapport relative au réglage de la répartition de la charge; l'auteur y donne les règles générales à suivre dans cette organisation, en distinguant le cas de plusieurs usines de la même société et celui de plusieurs réseaux interconnectés appartenant à des sociétés différentes et s'inspirant de son exposé de la question publié dans son rapport présenté au Congrès de Paris, en 1928 et résumé dans ces colonnes (1).

IV. **La marche en parallèle des grands réseaux.** Rapport de A. Roncaldier, ingénieur, directeur général du Groupement S. I. P. — Ce rapport, de dix pages de texte, donne une idée très précise des conceptions préconisées en Italie sur l'interconnexion des réseaux, puisque, rédigé par M. Roncaldier, il est publié sous le titre de « Rapport italien présenté par l'Unione nazionale fascista Industrie elettriche ».

1. Rapports contractuels entre les systèmes connectés. — 1° *Tarification.* — Une première question qui se pose lors d'une entente entre plusieurs sociétés se proposant de relier entre eux leurs réseaux de distribution respectifs, c'est celle de la tarification, question complexe si l'on tient compte de ce que l'échange de l'énergie doit pouvoir s'effectuer le plus souvent dans les deux sens, que le prix de l'énergie varie avec la puissance absorbée et d'autres conditions, telles que l'heure de la journée, la saison, suivant les lois différentes d'une entreprise à l'autre, et enfin que les frais de l'interconnexion doivent être supportés par les intéressés. L'entente ne peut être facilitée que par la simplification du problème et, à ce propos, l'auteur signale une des simplifications qui, selon son expérience personnelle, est tout indiquée, consistant « à prendre en considération la seule énergie échangée en laissant la plus grande tolérance pour la puissance instantanée ».

2° *Répartition de la charge.* — La solution la plus intéressante pour une exploitation satisfaisante est évidemment un réglage unique et centralisé de la répartition de la charge, cette répartition entre les diverses usines étant assurée par un agent ne visant que l'intérêt général. Cette solution, facilement applicable si les usines qui fonctionnent en parallèle appartiennent à la même société, ne l'est plus s'il y a en jeu des intérêts différents. Dans ce cas, le rapporteur propose, en se basant sur ce qui a lieu en Italie, un contrôle centralisé de chacun des réseaux, n'intervenant que pour le réseau considéré, tandis que la liaison extérieure d'un groupement à l'autre assure une « compensation » supplémentaire de la charge et est réglée par des accords directs entre les contrôleurs et répartiteurs intéressés.

2. La technique de l'interconnexion. — Les deux points sur lesquels insiste le rapport sont celui du réglage de la tension et celui de la protection.

C'est en prévoyant tous les dispositifs voulus, transformateurs à prises multiples, compensateurs synchrones, etc., pour le réglage de la tension que l'on

(1) Jaroslav Ibler; Le réglage de la fréquence et la répartition de la charge pour la marche en parallèle des usines génératrices. *Revue générale de l'Electricité*, 1er septembre 1928, t. XXIV, p. 301.

assure l'élasticité qui s'impose dans l'interconnexion ; on facilite ainsi en particulier la répartition de la charge. Au point de vue de la stabilité, il y a intérêt, comme l'a fait ressortir M. Niesz dans le rapport général, à maintenir une tension constante.

En ce qui concerne la protection, le rapporteur préconise le relais à impédance, et il ajoute qu'une condition essentielle qui doit être réalisée dans tous les relais est celle de la réduction au minimum du retard dans le fonctionnement du relais. Si le retard est admissible et même intéressant sur un réseau de distribution, il n'en est pas de même pour une interconnexion ; en effet, tout retard nuit à la stabilité ; or, si cette question ne se pose pas dans le premier cas, elle a de l'importance lorsque les distances auxquelles est transmise l'énergie augmentent.

V. **Discussion**. — La question de la marche en parallèle fut présentée et discutée sous la présidence de M. Ulrich (France). M. Silva (Italie) fait ressortir les différences résultant des travaux présentés par M. Roncaldier sur la marche en parallèle des grands réseaux italiens et par la Compagnie lorraine d'Electricité sur la marche en parallèle des usines génératrices en France. Il félicite particulièrement cette dernière d'avoir présenté un exemple concret de ce qui a été fait dans une grande société et explique les différences de procédés indiqués dans ces deux rapports par le fait que les réseaux italiens dont il s'agit dans le rapport de M. Roncaldier sont surtout alimentés par des usines hydroélectriques, alors que la Compagnie lorraine d'Electricité est, au contraire, alimentée par des usines thermiques. A ce propos, M. Niesz, rapporteur général, fait remarquer qu'il n'est pas tout à fait exact qu'à la Compagnie lorraine d'Electricité l'énergie soit presque exclusivement d'origine thermique. Il insiste, d'autre part, sur l'intérêt qu'il y a à perfectionner les procédés de protection sélective des réseaux.

Quelques indications sont également fournies par M. Duquesne, président de l'Union des Exploitations électriques en Belgique, sur les conditions dans lesquelles la question se pose dans son pays et la discussion est close après de nouvelles interventions de MM. Silva et Niesz. — A. C.

V. Coexistence des lignes de transmission d'énergie électrique et des lignes de télécommunication

Cette question a fait l'objet de deux rapports, l'un, le rapport général, de M. E. Brylinski, l'autre, de M. J. Garczynski, tous deux montrant qu'une solution satisfaisante de ce problème si complexe tend de plus en plus à se préciser grâce à l'étroite collaboration des organismes intéressés et à des recherches d'ordre expérimental qui ont été entreprises pour contrôler les résultats des considérations théoriques développées jusqu'ici. Rappelons que dans son rapport présenté au Congrès de Paris, en 1928, de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, M. Brylinski a donné le programme général des essais à envisager (1) ; ce sont précisément les résultats de quelques-uns des essais recommandés qui sont exposés dans les deux rapports analysés dans les lignes qui suivent :

I. **Les conditions de coexistence des lignes d'énergie électrique et des lignes de télécommunication ou des canalisations souterraines**. Rapport général de E. Brylinski, délégué général de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Ce rapport, de cinquante pages de texte avec sept figures et huit tableaux dans le texte, comprend quatre parties : la première constitue un compte rendu des travaux des deux organismes qui collaborent avec l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique dans les recherches relatives à la question qui nous occupe ; la deuxième partie est relative à des expériences entreprises à Münsingen, en Souabe, pour la mesure de coefficients d'induction mutuelle de lignes dans diverses conditions déterminées ; dans la troisième partie, le rapporteur commente une observation de M. Collet et de M. Pollaczek au sujet de l'étude de la répartition des courants dans le sol. Dans la quatrième partie est reproduit le texte d'un projet de directives concernant les mesures à appliquer aux installations télégraphiques et aux lignes de traction, ainsi qu'aux lignes triphasées, en vue de rapprochements mutuels.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 1er septembre 1928, t. XXIV, p. 303-306.

1. Réunions du Comité consultatif international des Communications téléphoniques a grande Distance (C. C. I.) et de la Commission mixte internationale pour les Expériences relatives a la Protection des Lignes téléphoniques et des Canalisations souterraines (C. M. I.). — 1° *Réunion du C. C. I. : session de juin 1928*. — Au cours de cette session, le Comité Consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance a adopté un certain nombre de dispositions comportant des modifications ou des additions aux directives établies antérieurement en vue de la protection des lignes téléphoniques contre l'influence des lignes de transmission d'énergie. Le texte des plus importantes de ces dispositions est reproduit in extenso dans le rapport. Nous y relevons quelques définitions, admises par le C. C. I. à titre provisoire, telles que celles de la « tension perturbatrice équivalente » ; elle est la tension, à la fréquence de 800 p : s, qui, appliquée à la ligne d'énergie, engendrerait dans une ligne téléphonique voisine la même

perturbation que la tension de service de la ligne d'énergie, avec tous ses harmoniques ; le « courant perturbateur équivalent » est le courant à la fréquence de 800 p : s qui, circulant dans la ligne d'énergie, engendrerait dans une ligne téléphonique voisine la même perturbation que le courant de service de la ligne d'énergie avec tous ses harmoniques ; autrement dit, le « courant perturbateur équivalent » est le quotient de la tension perturbatrice équivalente par l'impédance de la ligne d'énergie en service, pour la fréquence de 800 p. Le « facteur téléphonique de forme de la tension » est le rapport de la tension perturbatrice équivalente à la tension de service ; le « facteur téléphonique de forme du courant » est le rapport du courant perturbateur équivalent au courant de service.

Ces définitions s'appliquent aux installations de toute nature, soit à courant continu, soit à courant alternatif.

En ce qui concerne les mesures à prendre dans le cas de parallélisme entre lignes téléphoniques internationales et lignes de traction à courant continu, le C. C. I. émet, à l'unanimité, l'avis que les directives signalent, pour le cas de parallélisme entre lignes téléphoniques internationales aériennes et lignes de traction à courant continu alimentées par des redresseurs, les avantages que présente, dans l'état actuel de la technique, le montage, sur ces redresseurs, de dispositifs convenables d'absorption (par exemple, bobine d'absorption et shunts résonnants).

La définition des bruits induits sur les circuits aériens et sur les circuits en câbles peut être basée, de l'avis du C. C. I., sur une équivalence d'impression auditive entre le bruit réel et un bruit artificiel engendré et enregistré dans des conditions à déterminer par un appareil dont tous les éléments sont bien étalonnés. Cette équivalence serait exprimée en millivolts par une tension appelée « tension de bruit », déterminée directement par la lecture de cet appareil.

Le C. C. I. émet, à l'unanimité, l'avis suivant relatif au calcul de la tension de bruit sur une ligne téléphonique voisine d'une ligne monophasée double et d'une ligne triphasée.

a) « Sauf les cas particuliers prévus en b, il est recommandé d'employer la formule suivante qui est valable pour les lignes monophasées à double fil et pour les lignes triphasées :

$$U_b = \frac{22{,}5 \times 10^{-3} \times l\delta E}{a^2 + b^2 + c^2},$$

où U_b représente la tension du bruit exprimée en millivolts ; l, la longueur du rapprochement exprimée en kilomètres ; δ, la distance des conducteurs de la ligne d'énergie exprimée en mètres (dans le cas de distances inégales, comme pour une ligne triphasée armée en plan, on prend la moyenne géométrique des trois distances) ; E, la tension de service de la ligne à haute tension exprimée en volts ; a, la distance entre les deux lignes, exprimée en mètres ; b, la hauteur moyenne au-dessus du sol des conducteurs de la ligne à haute tension, exprimée en mètres ; c, la hauteur moyenne au-dessus du sol des conducteurs du circuit téléphonique, exprimée en mètres.

b) Dans les cas où l'écartement entre la ligne d'énergie et la ligne téléphonique dépasse 100 m et où les conducteurs de la ligne d'énergie sont disposés dans un plan horizontal, il est recommandé de faire usage des deux autres formules suivantes :

Pour les lignes monophasées,

$$U_b = 22{,}5 \times 10^{-3} \times l\delta E \frac{a^2 - b^2 + c^2}{(a^2 + b^2 + c^2)^2};$$

Pour les lignes triphasées,

$$U_b = -36 \times 10^{-3} \times l\delta E \frac{2ab}{(a^2 + b^2 + c^2)^2},$$

où les lettres ont la même signification que dans la formule qui fait l'objet du paragraphe précédent.

Au sujet de la détermination du coefficient d'induction mutuelle, le C. C. I. émet, à l'unanimité, l'avis que les directives ne fassent état, en principe, que de la formule de Pollaczek (1), dans laquelle intervient la conductivité apparente du sol, fonction de la fréquence. Des précisions sont données dans les dispositions en question sur la forme à adopter pour cette fonction et sur les valeurs numériques à attribuer au coefficient introduit dans cette formule.

2° *Réunions de la C. M. I.* — La C. M. I. s'est réunie à deux reprises à Paris, en avril et en octobre 1929. Dans la première de ces sessions, la C. M. I. a apporté à ses règles de travail certaines modifications en vue d'établir le texte de « recommandations » concernant la protection des canalisations souterraines contre les corrosions et, d'autre part, d'apporter au texte quelques améliorations de détail. La principale modification adoptée concerne la division de la C. M. I. en deux sections dont la première s'occupera désormais des questions d'induction (dangers et perturbations) et la seconde, des questions de corrosion électrolytique ou chimique. La première section a seule délibéré pendant cette session. La principale question traitée est relative aux mesures permettant de déterminer le bruit prenant naissance dans un circuit téléphonique sous l'influence d'une ligne voisine. Cette question fait l'objet du rapport de M. Garczynski résumé plus loin.

La seconde session (en octobre), au contraire, a été complètement réservée à la deuxième section qui s'y est définitivement organisée et qui a, en particulier, fixé le programme des travaux de chacun des trois comités d'études créés en vue des recherches relatives aux courants vagabonds. Le premier comité d'études est chargé de l'établissement de statistiques suivant des règles bien définies et dont le texte est reproduit dans le rapport de M. Brylinski. Les deux autres

(1) F. Pollaczek. *Elektrische Nachrichten Technik*, t. III, n° 9, p. 339-356.

comités d'études sont chargés de l'examen des questions concernant respectivement la naissance et les effets des courants vagabonds ; à ce sujet encore, M. Brylinski donne le détail des programmes établis.

3° *Session préparatoire des commissions des rapporteurs du Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance (avril 1930).* — Une question importante mise à l'étude est celle de savoir s'il y a lieu de tenir compte du mode de distribution des courants dans le sol pour le calcul de l'influence produite par une ligne d'énergie à courant alternatif à haute tension sur une ligne de télécommunication.

2. Expériences de Munsingen. — Le compte rendu que donne M. Brylinski dans son rapport est la traduction d'un exposé du docteur Klewe, publié dans « Elektrische Nachrichten Technik », 1929, pages 467 à 479. Le but de ces expériences est la détermination du coefficient d'induction mutuelle de lignes placées dans des conditions diverses et bien définies dans chaque cas, un des circuits du système au moins se fermant par le sol. Le coefficient d'induction mutuelle est une fonction de la nature du sol, défini par sa conductivité apparente. Une première question se pose, dans l'étude de l'organisation de tels essais, celle du terrain à adopter ; celui choisi pour les essais en question a été le terrain de manœuvres à Münsingen, en Souabe, dont les caractères essentiels sont donnés dans le rapport : situation, altitude, nature, etc ; ce terrain est parcouru par des lignes téléphoniques, mais aussi par des lignes de transmission d'énergie ; les lignes téléphoniques sont très éloignées les unes des autres. On procéda donc à l'établissement de canalisations destinées aux mesures ; la longueur de parallélisme entre ces lignes et la ligne téléphonique observée était de 5 km. Les méthodes de mesure appliquées furent la méthode de compensation avec un compensateur Hartmann et Braun et un galvanomètre à vibration pour les fréquences jusqu'à 100 à 140 p : s. Pour les fréquences plus élevées on utilisa la machine de Franke, la réactance due à l'inductance mutuelle étant comparée à une résistance étalon.

De l'ensemble des résultats comparés à ceux que donnent les formules de Pollaczek et de Carson on peut conclure que ces formules conduisent à une approximation suffisante. Nous ne pouvons reproduire ici, faute de place, les tableaux ni les courbes qui résument ces résultats et que l'on trouve dans le rapport de M. Brylinski.

3. Répartition du courant dans le sol. — Dans son précédent rapport, mentionné plus haut, M. Brylinski avait reproché aux directives du Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance d'admettre, dans les conditions de danger fixées dans le cas de l'induction électrostatique, une conductivité parfaite du sol pour le calcul des capacités considérées et il avait fait ressortir l'écart entre les valeurs ainsi calculées et les valeurs réelles. De plus, M. Brylinski avait fait remarquer qu'il ne suffisait pas d'appliquer les directives en tenant compte de la nouvelle valeur obtenue pour la capacité, mais qu'il importait de reprendre la question des points de vue théoriques. Cette remarque souleva des observations de la part de M. Collet et de M. Pollaczek. Reprenant cette question, M. Brylinski établit le rapport de l'amplitude du courant de déplacement à celle du courant de conduction et il montre que ce rapport est très petit, soit de l'ordre de 1 : 180 pour des fréquences de 10^4 p : s ; le courant de déplacement serait donc négligeable par rapport au courant de conduction : « Ce raisonnement, ajoute-t-il, est assurément très séduisant, mais il ne paraît pas certain qu'il soit à l'abri de toute critique. » Cette question est d'ailleurs encore à l'étude.

4. Projet de directives concernant les mesures a appliquer aux installations télégraphiques et aux lignes de traction ainsi qu'aux lignes triphasées en vue de rapprochements mutuels. — Ce projet a été élaboré par un comité créé par les télégraphistes, analogue au Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance et qui a précisément été chargé d'examiner les conditions de coexistence des lignes d'énergie et des lignes télégraphiques. Le texte de ce projet, inspiré de celui du comité précité, mais simplifié en raison des conditions spéciales des lignes télégraphiques, est reproduit en annexe du rapport de M. Brylinski.

5. Conclusion. — Le rapporteur insiste sur l'intérêt qu'il y a pour les producteurs et distributeurs d'énergie électrique à participer aux travaux des deux comités mentionnés au début (le C. C. I. et la C. M. I.), mais, d'une part, en maintenant les réserves formulées dès le début en commun avec les délégués de l'Union internationale des Chemins de fer auprès du Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance, réserves dont il a été pris acte, et d'autre part, en tenant compte des points déjà signalés dans les conclusions du rapport du même auteur présenté en 1928 et mentionné plus haut, conclusions qu'on peut résumer de la manière suivante :

1° Nombre de lignes téléphoniques ordinaires ne devront être soumises qu'à des prescriptions atténuées ;

2° L'expérience montre que jusqu'à des tensions composées de l'ordre de 60 000 v, quelques prescriptions très simples permettent aux lignes d'énergie et de télécommunication de coexister sans inconvénient sérieux, de telle sorte qu'on pourrait limiter l'application des directives aux lignes de tension composée dépassant 60 000 v lorsqu'il s'agit de lignes n'employant pas la terre comme partie du circuit ;

3° Les formules obtenues ne tiennent pas compte, d'une façon générale, de l'amortissement de l'énergie électromagnétique provenant des lignes, ce qui amène fréquemment à exagérer la valeur des dangers ou des perturbations ;

4° Les directives ne font pas de différences suffisantes entre des perturbations qui se produisent très rarement et des perturbations qui se répètent fréquemment. Il semble évident que des perturbations de courte durée qui ne se présentent qu'occasionnellement ne devraient pas être de nature à mettre en jeu les règles des directives.

II. **La coexistence des lignes d'énergie et des lignes de télécommunication.** Rapport de J. Garczynski, ingénieur des Télégraphes, hors cadres, chef adjoint des Services électriques de la Compagnie générale du Gaz pour la France et l'Etranger. — Ce rapport de seize pages de texte traite des expériences entreprises en vue de « mesurer les bruits » induits dans un circuit téléphonique. L'auteur rappelle la définition du bruit induit que propose le Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance et le principe adopté par ce même comité pour la mesure des bruits, se ramenant à la mesure d'une tension induite ; le texte de ces dispositions est reproduit plus haut dans le compte rendu du rapport de M. Brylinski. Il décrit sommairement les méthodes proposées pour la mesure des tensions de bruit et commente les expériences de Dollis Hill.

1. Description des méthodes proposées pour la mesure des tensions de bruit. — *Méthode allemande.* — Le bruit à mesurer est comparé par l'oreille à un bruit artificiel d'amplitude réglable, produit par un vibrateur de fréquence fixe (800 p : s) dans le même récepteur téléphonique. On fait varier au moyen d'un potentiomètre la tension appliquée par ce vibrateur au récepteur téléphonique, jusqu'à ce que l'opérateur obtienne l'équivalence d'impression auditive entre les deux bruits. C'est cette tension exprimée en millivolts qui mesure l'intensité du bruit. Elle est lue directement sur le potentiomètre.

2° *Méthode américaine.* — Cette méthode est basée, comme la méthode allemande, sur une équivalence d'impression auditive entre le bruit à mesurer et un bruit artificiel de comparaison ; mais ce dernier bruit est produit cette fois par un vibrateur étalon donnant une forme d'onde complexe et construit de manière à assurer un fonctionnement uniforme. Le potentiomètre est gradué ici en unités arbitraires.

3° *Méthode de l'Administration britannique.* — Cette méthode supprime toute comparaison auditive de manière à obtenir des résultats indépendants du facteur personnel de l'opérateur. On mesure directement par un voltmètre amplificateur la tension induite sur le circuit téléphonique, le voltmètre étant précédé d'un filtre ne laissant passer que les fréquences audibles, de 200 à 3 000 p : s.

Le voltmètre amplificateur intègre pendant une période définie les différentes composantes de la tension perturbatrice.

2. Expériences de Dollis Hill. — Ces expériences ont eu lieu au centre de recherches du British Post Office, à Dollis Hill. Elles ont consisté à comparer les trois méthodes proposées et ont été faites individuellement et successivement par tous les délégués, au nombre d'une vingtaine, représentant les divers groupements et organismes intéressés ainsi que des maisons importantes de construction de matériel électrotechnique et téléphonique.

Il résulte de la discussion des résultats que les méthodes allemandes et américaines doivent être abandonnées, à cause de l'inconvénient qu'elles présentent d'être basées sur une comparaison auditive qui fait intervenir un facteur personnel de l'opérateur dans la mesure. Les résultats de la méthode anglaise, se ramenant à la lecture d'un voltmètre, sont, comme nous l'avons dit, indépendants de ce facteur personnel ; mais cette méthode doit être perfectionnée par l'adjonction d'un filtre dans le dispositif de mesure, pour la discrimination des fréquences, les résultats sans filtre ne faisant pas intervenir la fréquence qui influe néanmoins grandement sur la sensibilité de l'oreille ; cette sensibilité est en effet maximum pour 1 500 p : s et décroît très vite quand la fréquence s'écarte de ce chiffre. Il resterait à déterminer la courbe d'impédance du filtre employé.

3. Conclusion. — Comme conséquence de ces expériences, la première Commission des Rapporteurs qui s'est réunie à Paris en avril 1930 a proposé une nouvelle définition de la tension de bruit dont la rédaction a été modifiée par le Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance, réuni en Assemblée plénière à Bruxelles du 16 au 23 juin 1930. Voici le texte de cette rédaction.

« Etant donné un circuit téléphonique dans lequel circulent des courants parasites, on peut comparer le trouble apporté par la présence de ces courants à la conversation téléphonique au trouble qui serait apporté par un courant parasite sinusoïdal de 800 p : s circulant dans un circuit de mêmes caractéristiques électriques que le circuit considéré, et qui serait fermé sur un récepteur normalisé ayant 600 ohms de résistance et une impédance négligeable, s'il y a lieu par l'intermédiaire d'un transformateur adaptant l'impédance du récepteur à celle du circuit.

» On règle l'intensité du courant parasite de 800 p : s, de telle sorte que le trouble observé dans ce dernier cas soit le même que le trouble observé sur le circuit considéré. On définit comme tension de bruit à l'extrémité du circuit le double de la tension de 800 p : s mesurée entre les bornes du récepteur normalisé de 600 ohms, dans les conditions de réglage indiquées.

» Cette tension de bruit représente la force électromotrice d'une source d'impédance intérieure de 600 ohms qui, reliée directement au récepteur normalisé de 600 ohms, y produirait le même courant sinusoïdal de fréquence égale à 800 p : s que dans le cas du réglage indiqué. » — A. C.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

L'orgue électronique

Dans une récente note présentée à l'Académie des Sciences (*), MM. Coupleux et Givelet exposent le principe d'un orgue électrique réalisé par l'application de la méthode que les auteurs appellent « directe », c'est-à-dire qu'il s'agit d'un procédé par lequel les oscillations à fréquence musicale sont obtenues directement, et non plus, comme dans les solutions envisagées jusqu'à maintenant, par effet d'interférences. L'auteur de l'article qui suit développe les considérations exposées dans la note précitée, précise les résultats que permet d'obtenir l'application de cette méthode directe et donne des indications sur la disposition pratique du nouvel orgue ainsi conçu.

I. **Introduction.** — Dans son numéro du 7 janvier 1928, la « Revue générale de l'Electricité » (1) avait donné la description des premiers appareils de musique à oscillations électriques. Tous ces appareils, qu'ils fussent basés sur le principe des interférences, comme celui de Theremin, ou sur le principe des oscillations directes, comme le clavier Givelet, ne parvenaient encore qu'à donner une seule note à la fois. Un grand pas en avant vient d'être fait dans cette voie par l'orgue polyphonique à lampes triodes présenté récemment à l'Académie des Sciences (2) par le général Ferrié. C'est le principe de cet orgue, œuvre de MM. Coupleux et Givelet, que nous indiquons dans les lignes qui suivent.

II. **Généralités.** — Les instruments de musique électriques utilisant, pour la production des sons musicaux, les oscillations engendrées par les lampes à trois électrodes peuvent se diviser en deux grandes catégories : les instruments donnant des notes musicales au moyen d'interférences et les instruments produisant directement ces notes par des oscillations à fréquence audible.

Ceux de la première catégorie (interférences) semblent avoir joui de la faveur de nombreux inventeurs, Hugoniot, Theremin, Martenot, Péchadre, etc. Ils sont, en effet, séduisants au premier abord, en raison du nombre considérable d'octaves qu'ils permettent de couvrir par la simple variation de l'un des éléments (inductance ou capacité) de leurs circuits oscillants et par leur extrême sensibilité qui permet à l'exécutant d'en tirer des nuances d'une grande finesse. Par contre, ils se montrent, par leur nature même, d'une instabilité assez inquiétante. Supposons, en effet, deux hétérodynes de fréquence relativement basse,

$$f_1 = 30\,500 \quad \text{et} \quad f_2 = 30\,000 \text{ p : s}$$

la fréquence du battement, $F = f_1 - f_2$, est de 500 p : s. Si maintenant, par suite d'un léger désaccord, la fréquence f_1 passe de 30 500 à 30 800, par exemple, la fréquence du battement sera alors de 800 au lieu de 500 p : s, c'est-à-dire que la note se sera élevée de plus d'une quinte, pour une augmentation de fréquence de 300 p : s, c'est-à-dire pour une variation de 1 pour 100 seulement.

Au contraire, dans la méthode directe, une variation de 1 pour 100 n'est perceptible qu'à une oreille très exercée.

On pourrait, sans doute, réduire l'instabilité de la méthode interférentielle, en employant, pour chaque hétérodyne, des fréquences d'oscillations beaucoup plus basses; mais, en dessous de 30 000 p : s, on arrive très vite dans le domaine des sons audibles, ou, tout au moins, dans la fréquence des harmoniques des sons audibles et l'emploi des hétérodynes produit alors des altérations de timbre qui compliquent beaucoup le problème.

Il résulte de ce qui précède que cette méthode ne peut guère être employée que pour les appareils qui ne produisent qu'une note à la fois. Dans ce cas, en effet, l'exécutant n'a qu'un très petit nombre de lampes à surveiller et il peut, éventuellement, remédier aux désaccords accidentels qui peuvent se produire.

Pour les appareils polyphoniques dont nous nous occupons aujourd'hui, il paraît nécessaire de recourir à la deuxième méthode, celle qui consiste à produire directement les oscillations à fréquence musicale. On arrive alors, moyennant certaines précautions, à une remarquable stabilité, ce qui est indispensable pour conserver la justesse des accords.

On a reproché à la méthode directe de ne pas permettre les mêmes finesses que la méthode interférentielle. Ce reproche est injustifié et provient de

(*) E. Coupleux et A. Givelet. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 6 octobre 1930, t. CXCI, p. 557-560; note reproduite dans la *Revue générale de l'Electricité*, 1er novembre 1930, t. XVIII, p. 710.

(1) Michel Adam; A propos des instruments de musique radioélectriques et photoélectriques. *Revue générale de l'Electricité*, 7 janvier 1928, t. XXIII, p. 46-51.

(2) E. Coupleux et A. Givelet. *Loc. cit.*

l'ignorance complète des ressources que peuvent fournir des lampes oscillant à fréquence musicale, Nous expliquerons, par exemple, un peu plus loin, comment il est possible, sans recourir aux interférences, d'obtenir un « vibrato » donnant, avec un clavier d'orgue, l'illusion des instruments à cordes.

De toutes façons, il convient de choisir des triodes à forte résistance interne pour éviter les déréglages qui rendraient les notes fausses et insupportables.

A la limite d'entretien des oscillations, la fréquence F est donnée par la relation

$$F = \frac{\sqrt{1 + \frac{R}{\rho}}}{2\pi\sqrt{CL}}$$

où R, C et L désignent respectivement la résistance, la capacité et la self-inductance du circuit oscillant et ρ, la résistance interne de la lampe.

Si ρ est très grand par rapport à R, le terme $\frac{R}{\rho}$ devient négligeable et la formule indiquée ci-dessus ne contient plus aucun élément caractéristique de la lampe; les fréquences sont indépendantes des lampes : on n'a donc plus à craindre de désaccord, même si le chauffage et la tension de plaque varient entre des limites assez écartées.

La formule se réduit à

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}},$$

formule classique de Thomson : les fréquences sont donc proportionnelles à l'inverse de la racine carrée du produit de la self-inductance par la capacité. Si un groupe de notes musicales possède, par exemple, une capacité commune C, en substituant à cette capacité C une autre capacité C', on réalisera la transposition instantanée dans un autre ton, ce qui est une propriété remarquable des instruments de musique à oscillations électriques.

Lorsqu'on se propose de réaliser la polyphonie, c'est-à-dire des accords, on se heurte à une réelle difficulté provenant des interférences entre certaines notes et les harmoniques d'autres notes : par exemple, le second harmonique de l' « ut » a, théoriquement du moins, la même fréquence que le « sol » de l'octave supérieur; toutefois, dans la gamme tempérée, il existe une différence entre la fréquence du sol (2e harmonique de l'ut de l'octave inférieur) et celle du sol obtenu en frappant sur la touche qui correspond à cette note. Cette différence est très faible; mais, dans d'autres cas, notamment lorsque de légers déréglages se sont produits, certains harmoniques peuvent interférer, soit entre eux, soit avec les notes fondamentales, en donnant naissance à des battements qui se traduisent par des bourdonnements désagéables. On élimine alors ces battements par des filtres opposant une impédance faible aux courants musicaux de fréquence relativement élevée et une forte impédance aux courants de basse fréquence résultant du battement.

III. **Timbres.** — Les moyens dont on dispose dans l'orgue électrique pour obtenir des timbres variés sont assez nombreux.

Tout d'abord, il y a lieu de faire remarquer que, si le produit CL reste constant dans un circuit oscillant branché sur une lampe, la hauteur de la note ne change pas. En faisant varier chacun des facteurs C et L sans changer leur produit, on obtient une infinité de notes, de même hauteur, mais de timbres différents. Une valeur élevée de L donne un timbre riche en harmoniques, parce qu'alors le point représentatif des oscillations se déplace jusque sur les extrémités courbes de la caractéristique de la lampe et, sitôt que la courbure d'une caractéristique entre en jeu, il ne peut plus être question de fonction sinusoïdale; on se rapproche alors du timbre du violon. Au contraire, une forte valeur de C donne un timbre du genre de celui de la flûte : dans ce cas, les oscillations sont de plus faible amplitude et la lampe travaille dans les régions rectilignes de sa caractéristique. Les polarisations de grilles donnent aussi, pour des raisons analogues, des timbres différents.

La valeur du couplage de grille et plaque est également très importante. Un couplage serré donne de nombreux harmoniques; un couplage lâche en fournit beaucoup moins. Le montage du genre « Hartley », selon lequel la plaque et la grille sont couplées étroitement, à la fois électrostatiquement et électromagnétiquement, est extrêmement riche en harmoniques. Par contre, un montage comprenant des circuits distincts de plaque et de grille, par exemple, un circuit oscillant sur la grille, faiblement couplé avec une inductance du circuit de plaque, donne un son assez pauvre en harmoniques, par conséquent, assez pur et se rapprochant de la flûte.

Les changements de timbres s'effectuent pratiquement en utilisant plusieurs claviers qui commandent des circuits oscillants de nature différente. D'autre part, sur un même clavier, de sensibles variations de timbres sont obtenues à l'aide de filtres électriques qui laissent plus ou moins passer les harmoniques. Le calcul de ces filtres est assez délicat, parce qu'ils doivent agir de la même façon pour des fréquences très différentes s'étendant sur plusieurs octaves. L'uniformisation des timbres sur l'étendue d'un clavier d'orgue a été un des problèmes les plus délicats à résoudre et l'un des grands mérites de M. Eloy Coupleux a été de triompher de toutes les difficultés que présentait cette question.

Enfin, comme on le conçoit aisément, il y a lieu d'utiliser également les timbres propres des caisses de résonance ou même des membranes des diffuseurs : les pavillons en bois ne donnent pas évidemment les mêmes timbres que les pavillons métalliques et les pavillons métalliques ont une autre tonalité que les diffuseurs à membranes de peau ou de carton.

Au point de vue des timbres, l'orgue à oscillations électriques présente un avantage capital sur l'orgue ordinaire : c'est la possibilité de modifier les timbres sur place, une fois l'installation effectuée. Il suffit, pour cela, de changer légèrement les éléments des filtres, par addition ou soustraction d'inductances, de condensateurs, etc. De plus, le même timbre peut être obtenu avec une infinité de nuances différentes, au lieu d'avoir, par exemple, un hautbois, on peut, autour du commutateur principal qui donne le hautbois, grouper des commutateurs secondaires qui ajoutent et retranchent des condensateurs de façon à donner un grand nombre de timbres de la même famille, ce qui fait, pour le même orgue, quatre ou cinq hautbois différents. On peut en faire autant pour la clarinette. le cor anglais, etc. La palette orchestrale de l'instrument devient ainsi d'une richesse extraordinaire.

IV. **Trémolo et vibrato**. — C'est peut-être dans la production du trémolo et du vibrato que l'électricité offre les ressources les plus variées. Jusqu'à présent, les facteurs d'instruments de musique se contentaient de l'à peu près en matière de trémolo et de vibrato. Dans l'orgue à lampes, on peut, au contraire, obtenir dans cette voie, les effets les plus curieux et les plus saisissants.

Pour faire trembler ou vibrer la note, on peut :

a) faire varier la hauteur de cette note, en montant ou en descendant d'une petite quantité par rapport à sa fréquence fondamentale;

b) faire varier l'intensité de cette note dont la hauteur reste constante;

c) faire varier à la fois la hauteur et l'intensité.

Qu'il s'agisse de l'un quelconque de ces procédés, on peut modifier à volonté soit la profondeur, soit la rapidité du trémolo ou du vibrato; par exemple, une note tenue avec un point d'orgue pendant plusieurs mesures, peut être modulée suivant un rythme lent, à raison d'une variation par seconde, chaque variation étant de 30 pour 100, par exemple, de l'intensité normale de la note. Dans une autre phrase musicale, la même note sera modulée à raison d'une variation toutes les deux secondes seulement, chaque variation n'étant plus que de 10 ou 15 pour 100 de l'intensité normale. On voit donc qu'il est possible d'accentuer plus ou moins l'effet de trémolo suivant la nature de chaque fragment musical.

Des variations de ce genre sont obtenues, notamment, en intercalant, entre les lampes oscillatrices et l'amplificateur, un transformateur dont le secondaire peut se déplacer par rapport au primaire. L'amplitude et la vitesse des déplacements caractérisent le trémolo. Ces déplacements peuvent se faire à la main, au pied, ou à l'aide d'un moteur.

Les variations de hauteur de la note s'obtiennent facilement en mettant en circuit ou hors circuit, à l'aide d'un contact, un petit condensateur représentant une certaine fraction de la capacité du condensateur principal du circuit oscillant. En effectuant rapidement ces manœuvres de mise hors circuit du condensateur additionnel, on obtient un vibrato analogue à celui qu'un violoniste peut produire en déplaçant son doigt sur la corde de son instrument. C'est donc un procédé qui permet, à s'y méprendre, l'imitation des instruments à cordes par l'orgue.

Enfin, la modulation qui produit le trémolo peut être multiple, c'est-à-dire qu'elle peut se produire simultament à des allures différentes. Supposons deux étages d'amplification à la suite de la lampe oscillatrice : la première lampe amplificatrice peut être munie d'un trémolo à l'allure de deux variations par seconde, tandis que pour la deuxième lampe, le même dispositif peut produire des variations beaucoup plus lentes, à raison d'une toutes les trois ou quatre secondes. L'effet qui résulte de cette superposition est tout à fait curieux.

V. **Puissance et réglage de l'intensité sonore**. — Un des avantages les plus importants des instruments de musique électriques, c'est la puissance énorme qu'ils peuvent mettre en jeu. On attribue souvent aux instruments ordinaires, violon, violoncelle, hautbois, etc., une puissance de l'ordre du watt. A notre avis, c'est être bien généreux. Il serait plus juste de parler d'un ou deux dixièmes de watt. Avec un bon amplificateur à basse fréquence, sans dépasser quelques centaines de volts pour la tension d'alimentation, on obtient facilement une puissance modulée de plusieurs watts. Avec des lampes d'émission et une tension de 2 000 ou 3 000 v sur les anodes, la puissance modulée se mesure par centaines de watts. On arrive très facilement à l'équivalent sonore d'un orchestre d'un millier d'exécutants. La puissance apparente peut être, d'ailleurs, considérablement renforcée par l'utilisation de certaines parties des édifices, voûtes, niches. etc., qui jouent le rôle de résonateurs acoustiques naturels et donnent aux vibrations d'un diffuseur une ampleur considérable; la possibilité de répartir les sources sonores aux endroits les plus favorables est extrêmement précieuse à cet égard. Toutefois, il faut noter que, conformément à la loi de Fechner, généralement admise, la sensation ne croît que comme le logarithme de l'excitation. Il ne suffit donc pas de doubler la puissance pour doubler la sensation auditive, loin de là.

Quoi qu'il en soit, l'orgue à oscillations électriques permet d'obtenir des variations considérables de puissance et d'une façon tout à fait progressive. Le passage du « pianissimo » au « fortissimo » peut s'effectuer instantanément, en tous cas beaucoup plus vite que dans l'orgue ordinaire à tuyaux où de tels effets ne peuvent s'obtenir que par la manœuvre d'organes doués d'une inertie qui en retarde le fonctionnement.

Un moyen simple, pour obtenir ces variations d'intensité, consiste à intercaler sur le circuit de plaque de la dernière lampe amplificatrice une résistance variable très élevée (50 000 ohms) dont le curseur est manœuvré

par une pédale. Un autre moyen consiste à relier la lampe oscillatrice à l'amplicateur au moyen d'un transformateur dont le secondaire peut se déplacer par rapport au primaire sous l'action d'une pédale. On peut enfin agir, toujours au moyen d'une pédale, sur le rhéostat d'excitation qui règle la valeur du champ inducteur d'un haut-parleur électrodynamique. Cette dernière méthode est particulièrement pratique, parce qu'elle permet d'agir très efficacement sur la puissance sans influencer en aucune façon le régime des lampes oscillatrices ou amplificatrices.

VI. **Alimentation**. — L'alimentation constitue un des points les plus délicats dans les orgues radioélectriques. Si la tension de plaque peut varier entre certaines limites sans influencer beaucoup la hauteur du son, il n'en est pas de même de la tension de chauffage des cathodes émettrices.

Avec des lampes spécialement choisies, on arrive à supporter des écarts de tension de 10 à 15 pour 100 en plus ou en moins de la tension normale, pour le chauffage, sans que la hauteur des notes varie de plus d'un comma.

Il faut toutefois tenir compte de ce que sur certains réseaux, la tension varie parfois de 80 à 130 v. De toutes façons, pour ménager les lampes, il est bon de les alimenter à tension constante. Ce but est atteint à l'aide d'un groupe convertisseur à vitesse constante, comprenant, par exemple, un moteur synchrone et une ou plusieurs génératrices fournissant le courant aux filaments et aux plaques des lampes. La vitesse du moteur synchrone est indépendante de la tension du réseau et, dans ces conditions, les filaments sont chauffés avec une régularité parfaite.

Les génératrices employées pour l'alimentation des lampes oscillatrices et amplificatrices peuvent fournir du courant continu ou alternatif. Le courant alternatif présente des avantages sérieux : il permet, en effet, d'alimenter des transformateurs comprenant un primaire et autant de secondaires qu'il existe de cathodes émettrices. Ce dispositif évite les mélanges de courants musicaux qui tendent à se produire avec une source de chauffage unique. Avec des triodes convenablement choisis, en effectuant les retours des grilles aux points milieux, on peut éliminer complètement le bourdonnement provenant du courant alternatif de chauffage.

Pour les tensions d'anode, on peut employer une génératrice à courant continu; on est alors amené à interposer, entre cette génératrice et les anodes des lampes, des bobines de choc qui empêchent le retour des courants musicaux sur cette machine.

VII. **Dispositions pratiques**. — Le modèle actuel, réalisé par l'habile facteur d'orgues M. Eloy Coupleux, et présenté récemment à l'Académie des Sciences, se présente sous la forme d'une console d'orgue et a l'encombrement d'un gros harmonium (fig. 1). Il comprend deux claviers à mains de trois octaves chacun et un clavier à pieds (pédalier) de deux octaves. Au-dessus du clavier à pieds se trouvent deux pédales d'expression qui donnent les nuances (forte, piano, etc.), pour chacun des claviers à mains.

Au-dessus des claviers à mains, une série de commutateurs ayant la forme de dominos analogues aux registres utilisés maintenant dans la facture des orgues

Fig. 1. — Vue de l'orgue électronique système Coupleux et Givelet.

électriques à tuyaux permet de varier les jeux (flûte, hautbois, clarinette, etc.), en agissant sur les éléments des filtres de sortie (fig. 2). Les lampes se trouvent placées à la partie supérieure, sous le couvercle de l'instrument. Il existe quinze lampes oscillatrices et quinze lampes amplificatrices, chaque lampe oscillatrice étant reliée par un transformateur à une lampe amplificatrice. Ce petit nombre de lampes est suffisant pour obtenir tous les accords possibles, grâce à un dispositif spécial de commutation réalisé automatiquement par le jeu des touches et qui permet de brancher la même lampe à volonté sur divers circuits oscillants.

Les circuits oscillants sont placés à l'intérieur de la console. Ils se composent de condensateurs au papier et de bobines à noyaux de fer feuilletés. L'accord précis des notes s'obtient en enfonçant plus ou moins ces noyaux. A gauche et à droite des claviers se trouvent les dispositifs accessoires, tels que le vibrato, le trémolo, etc.

Cet ensemble est complété par deux batteries de diffuseurs répartis sur deux panneaux verticaux et qui peuvent être placés à une distance quelconque de la console de commande à laquelle ils sont reliés par un câble multiple souple.

La basse qui donne des sons correspondant aux

tuyaux de seize pieds fonctionne à l'aide d'un amplificateur spécial et d'un haut-parleur électrodynamique.

Un perfectionnement de ce dispositif est représenté sur la figure 3 donnant le schéma du montage du système avec une lampe multiple permettant d'obtenir

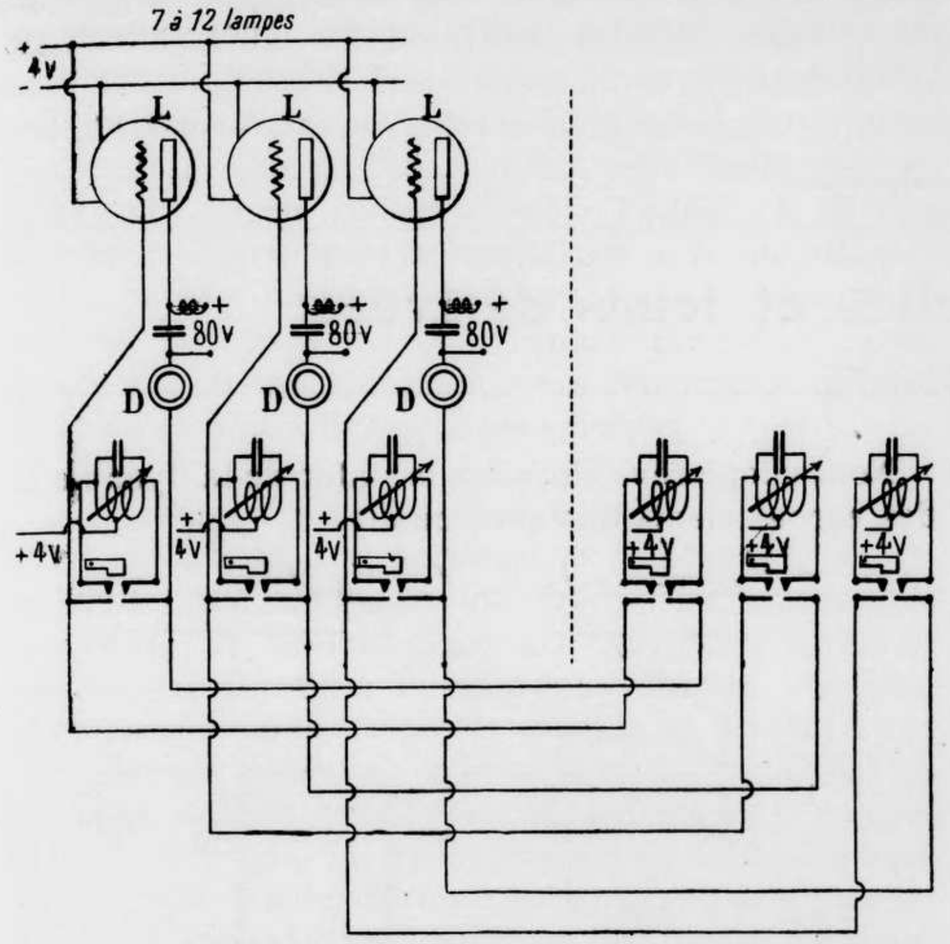


Fig. 2. — Schéma du dispositif de commutation automatique permettant, par le simple jeu de touches, de brancher un ensemble de lampes L et de diffuseurs D, à volonté dans n'importe quelle région du clavier. Le nombre de lampes est généralement égal à douze, afin de permettre d'obtenir les douze notes de l'octave dans la gamme tempérée.

plusieurs notes avec un seul filament ; les notes obtenues par la même lampe sont généralement des notes réalisant des intervalles assez espacés, tels que l'octave,

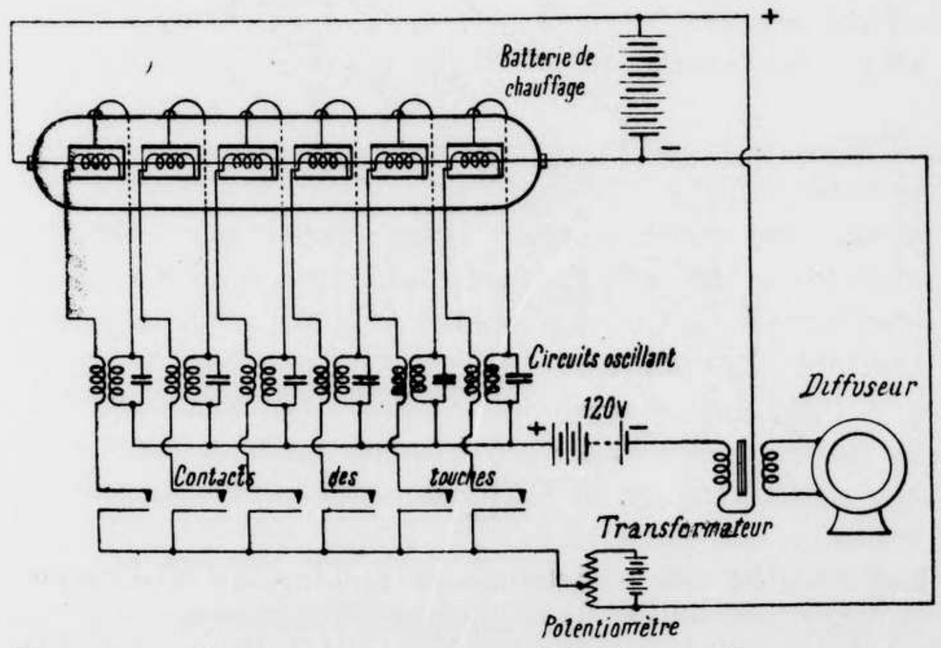


Fig. 3. — Schéma de montage du dispositif avec lampe multiple permettant d'obtenir plusieurs notes avec un seul filament.

la quinte, etc. On évite autant que posssible les notes séparées par un ton ou un demi-ton,

VIII. **Dispositifs accessoires.** — Il y aurait lieu de mentionner également certains dispositifs accessoires qui permettent d'enrichir considérablement les jeux déjà si variés de ces instruments : à côté des jeux ordinaires de l'orgue qui correspondent à des instrumenis à sons soutenus (flûtes, hautbois, bassons, etc.), on peut en obtenir d'autres qui correspondent à des instruments percutants (imitation du piano). Ces résultats ont pu être obtenus en disposant dans le circuit de plaque de la lampe une impédance assez forte qui empêche cette lampe d'osciller. On entend alors simplement un train d'oscillations amorties provenant de la décharge des condensateurs à travers la lampe et le haut-parleur correspondant. D'autres dispositifs ont permis d'imiter la guitare hawaïenne, d'autres, les cloches et les castagnettes, etc.

On voit que l'on se trouve en présence de procédés nouveaux d'une exceptionnelle fécondité et qui semblent de nature à transformer entièrement la technique des orgues. Sous les doigts d'un habile exécutant, un pareil instrument devient un véritable orchestre. Mais l'exécutant lui-même peut être supprimé et l'orgue peut fonctionner sous l'action d'un rouleau perforé qui se déroule devant les trous d'un cylindre (la flûte de Pan des pianos pneumatiques), chacun des trous de ce cylindre commandant une soupape dont le déplacement ferme un contact. Une réalisation de ce genre avait été présentée le 16 novembre 1929 à la salle Pleyel, par M. Eloy Coupleux, lors du Congrès national de la Radiodiffusion, et bien que cet instrument ne pût donner que cinq notes à la fois, il produisait déjà l'impression d'un petit orchestre.

IX. **Conclusion.** — L'orgue à lampes présente sur l'orgue à tuyaux de nombreux avantages dont le plus important est probablement la réduction de l'encombrement. Un orgue à lampes à trois claviers à mains et un pédalier, comprenant douze à quinze jeux différents, n'est pas plus encombrant qu'un harmonium. Là où il fallait des tuyaux de huit à dix mètres de longueur (pour les notes graves), il suffit de quelques bobines de quelques centimètres de diamètre et de quelques condensateurs d'un volume plus réduit qu'un étui à cigarettes. Un orgue à lampes peut donc s'installer dans les salles les plus exiguës, dans les salons, studios particuliers où la place fait généralement défaut. On peut donc prévoir que cette invention sera de nature à contribuer à la diffusion de l'orgue, ce qui pourrait entraîner un véritable renouveau des études musicales.

Un second avantage, c'est le prix, sensiblement moins élevé. Non seulement la fabrication est moins coûteuse, mais l'installation est incomparablement plus rapide, ce qui diminue de beaucoup les frais de montage. En une journée, deux ou trois ouvriers peuvent mettre en place et régler un orgue à lampes équivalent à un orgue à tuyaux dont l'assemblage et la mise au point auraient demandé quinze jours ; d'où une économie appréciable pour le facteur d'orgues.

Il faut signaler également l'absence totale d'inertie

qui permet d'exécuter les morceaux les plus rapides. A ce point de vue, on peut prévoir que le nouvel instrument transformera le style d'un grand nombre de pièces pour orgue et que la littérature musicale s'enrichira ainsi de nombreuses compositions d'un caractère entièrement nouveau.

Enfin, la possibilité de renvoyer les sons de haut-parleur en haut-parleur, par la simple manœuvre d'un commutateur, de créer ainsi des échos, des réponses dans le lointain donne à cet instrument une supériorité considérable sur ses prédécesseurs à air comprimé. De nombreuses églises qui avaient dû installer deux orgues, l'un au-dessus de l'entrée, l'autre dans le chœur pour accompagner la maîtrise, pourront désormais être pourvues d'un seul instrument susceptible de se faire entendre dans n'importe quel endroit de l'édifice.

A. Givelet.

Les métadynes entre elles et leurs dérivées

(*Suite et fin*) (*).

III. **La « pliodyne ».** — 1. Equivalence entre une métadyne et une pliodyne. — La dynamo ordinaire peut être considérée comme une métadyne sous sa forme la plus simple. Dans ce paragraphe nous considérerons une combinaison de dynamos dont les arbres sont solidaires, telle que le fonctionnement de chaque élément de cette combinaison ait une répercussion sur le fonctionnement des autres éléments ; nous appellerons cet ensemble de dynamos « pliodyne ».

Dix-neuvième mode de réalisation. — Etant donné une métadyne et ses caractéristiques fondamentales, il est toujours possible d'établir une pliodyne équivalente, c'est-à-dire ayant les mêmes caractéristiques fondamentales, en ramenant le nombre des balais de la métadyne à des jeux de deux balais chacun, en adoptant autant de dynamos pour la pliodyne qu'on aura de paires de balais ainsi déterminés et en établissant entre les dynamos de la pliodyne des connexions telles que la relation entre courants et tensions, d'une part, et la tension entre deux balais quelconques, d'autre part, reste la même dans le cas de la tension entre les deux balais correspondants de la pliodyne; le réseau et les appareils conduits seront connectés aux balais correspondants. Inversement, le même procédé permet de passer d'une pliodyne à la métadyne équivalente.

Considérons, par exemple, la métadyne en huit que nous représentons encore sur la figure 46. Décomposons les quatre balais a, b, c, d, en quatre paires a' d', d" c", c' b', b" a" (fig. 47, en bas), faisons correspondre une dynamo à chaque paire ; relions entre eux les balais de même polarité et connectons les appareils conduits et le réseau aux balais correspondants ; enfin sur le même arbre qui entraîne les quatre dynamos nons supposons calée la régulatrice R et la modulatrice M et nous obtiendrons la pliodyne que la figure 47 représente. Pour déterminer les enroulements statoriques de la pliodyne écrivons les fonctions qui donnent les tensions V_{ad}, V_{dc}, V_{cb} et V_{ba} dans la métadyne, soient

$$V_{ad} = f_{ad}\,(I_a, I_b, V_{ac}, V_{cd}, I_\varphi, \ldots)$$
$$V_{dc} = f_{dc}\,(I_a, I_b, V_{ac} \ldots),$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$V_{ba} = f_{ba}\,(I_a, I_b, V_{ac} \ldots).$$

Nous adopterons alors sur le stator de la dynamo L_1 des enroulements tels que l'on ait

$$V_{a'd'} = f_{ad}\,(I_a, I_b, V_{ac}, V_{cd}, I_\varphi, \ldots),$$

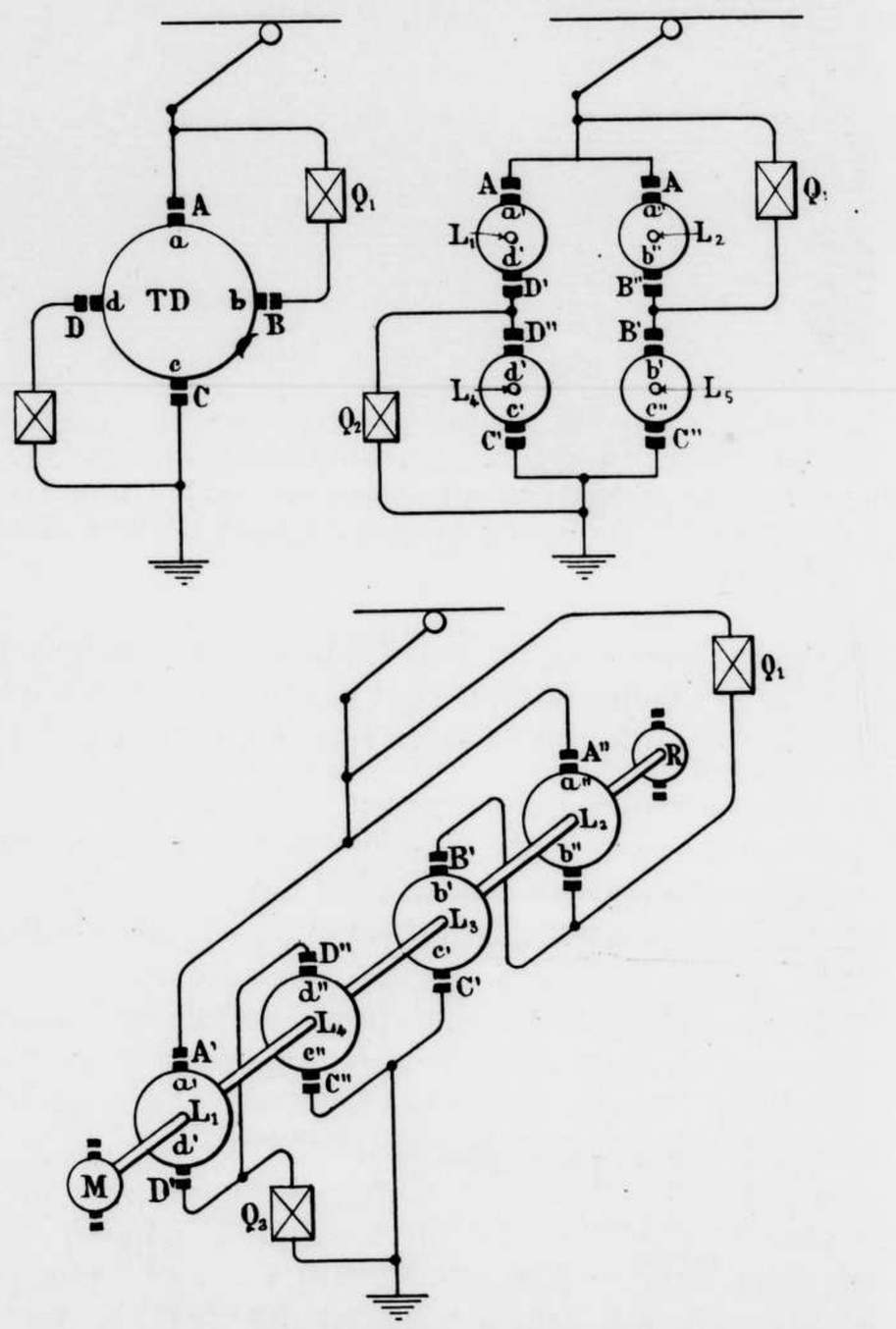


Fig. 46 à fig. 48. — Schémas de montage de la métadyne en huit et de la pliodyne équivalente.

et sur le stator de la dynamo L_2 des enroulements tels que l'on ait

$$V_{d''c''} = f_{dc}\,(I_a, I_b, V_{ac}, V_{cd}, I_\varphi, \ldots);$$

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 22 et 29 novembre 1930, t. XXVIII, p, 813-820 et 851-863.

et ainsi de suite, il est clair que l'on obtiendra les mêmes caractéristiques pour la métadyne primitivement donnée et pour la pliodyne ainsi établie.

Les dynamos de la pliodyne ne doivent pas nécessairement être calées sur le même arbre; il suffit que leurs arbres soient solidaires, c'est-à-dire qu'ils tournent toujours à des vitesses proportionnelles. Si, conformément aux conventions du premier paragraphe, on figure cette condition par un petit carré tracé au milieu du cercle qui représente l'induit et si l'on néglige de représenter la régulatrice et la modulatrice comme on l'a fait pour la figure 46 et comme on l'a souvent fait dans les paragraphes précédents pour rendre le schéma plus clair, nous pourrons remplacer la figure 47 par la figure 48 plus simple.

2. Pliodynes équivalentes entre elles. — En partant d'une métadyne à n balais et en appliquant le dix-neuvième mode de réalisation avec toutes les solutions possibles, on obtient plusieurs pliodynes diverses, toutes équivalentes à la métadyne donnée. Partons, par exemple, de la métadyne montée en araignée que représente la figure 49; en combinant différemment les balais en jeux de deux balais, on obtient les pliodynes des figures 50, 51, 52, 53, 54 et ainsi de suite plusieurs encore, équivalentes toutes à la métadyne en araignée. Nous construisons une image de la filiation qui, conformément au dix-neuvième mode de réalisation, permet de passer d'une métadyne aux pliodynes équivalentes, en portant sur un cercle qui représente l'induit de la métadyne, les balais de cette dernière et en réunissant par des vecteurs les deux balais qui forment une paire; ainsi à chaque vecteur correspond une dynamo de la pliodyne.

Le montage en Y de la métadyne, par exemple, donne par l'application du dix-neuvième mode de réalisation les pliodynes dont la filiation est représentée par les figures 55 à 58 et l'on se rend compte facilement qu'il n'y a que ces quatre combinaisons et aucune autre.

Le nombre de pliodynes équivalentes à une métadyne donnée et obtenues ainsi augmente rapidement avec le nombre des balais, mais reste toujours fini. En se servant de la représentation graphique de la filiation on arrive rapidement à épuiser les combinaisons possibles; ainsi pour quatre balais équidistants on obtient les diagrammes de filiation des figures 59 à 69; il y a lieu d'ajouter celles qui proviennent de la rotation de ces dernières d'un angle multiple de 90° jusqu'à ce que l'on retrouve une figure déjà existante. Ce nombre donc est déjà grand. Pour le cas de six balais nous nous limitons à représenter les diagrammes de filiation des figures 70 à 74 qui correspondent dans l'ordre aux pliodynes des figures 50 à 54.

3. Mode plus général de filiation d'une métadyne a des pliodynes équivalentes. — L'artifice suivant permet de construire un nombre infini de pliodynes équivalentes à une métadyne donnée. En plus des balais réels de la métadyne, on considère un ou plusieurs balais fictifs et avec tous ces balais on construit les diagrammes de filiation possibles et de là les pliodynes correspondantes. La figure 75 donne un exemple de diagramme de filiation pour une métadyne à trois balais a, b, c, en

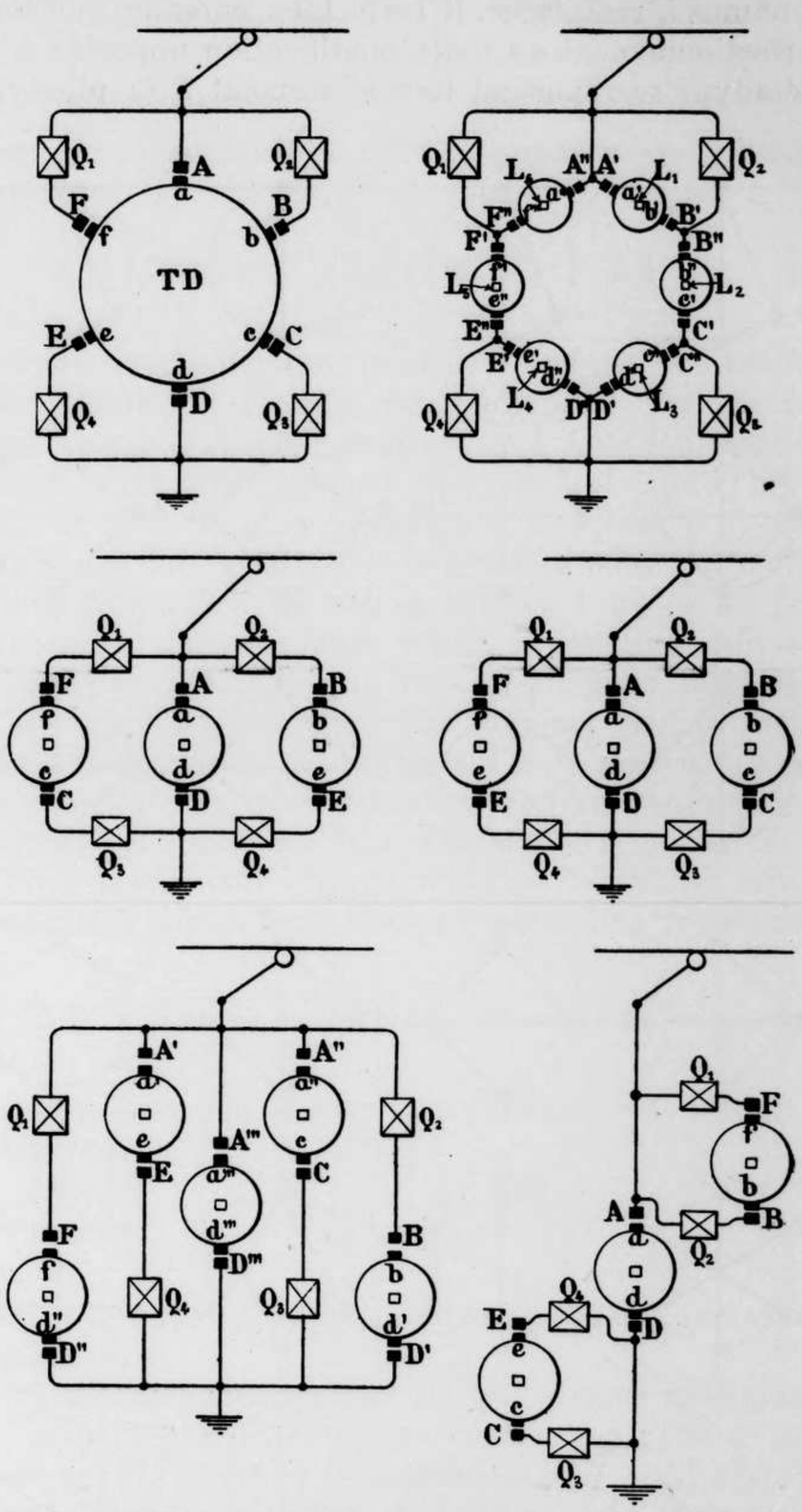


Fig. 49 à fig. 54. — Schémas de montage de la métadyne en araignée et de la pliodyne équivalente résultant de combinaisons diverses des balais.

ajoutant un balai fictif α; sur le diagramme de filiation de la figure 76, il y a quatre balais réels a, b, c, d et un balai fictif α.

4. Réduction du nombre des dynamos constituant une pliodyne. — Il y a intérêt à réduire le nombre des dynamos qui composent une pliodyne donnée; les règles suivantes conduisent à ce résultat:

1° Toutes les fois que plusieurs dynamos, éléments de la pliodyne, ont pendant tout le fonctionnement les mêmes potentiels aux balais correspondants, elles pourront être remplacées par une dynamo unique.

2° Toutes les fois que plusieurs dynamos, éléments de la pliodyne, ont, pendant tout le fonctionnement, la même différence de potentiel aux balais, elles pourront être remplacées par une dynamo unique dont le rotor comportera autant d'enroulements distincts que de dynamos à remplacer. Il reste bien entendu que tout perfectionnement ou toute modification apportés à la métadyne se reportent immédiatement à la pliodyne

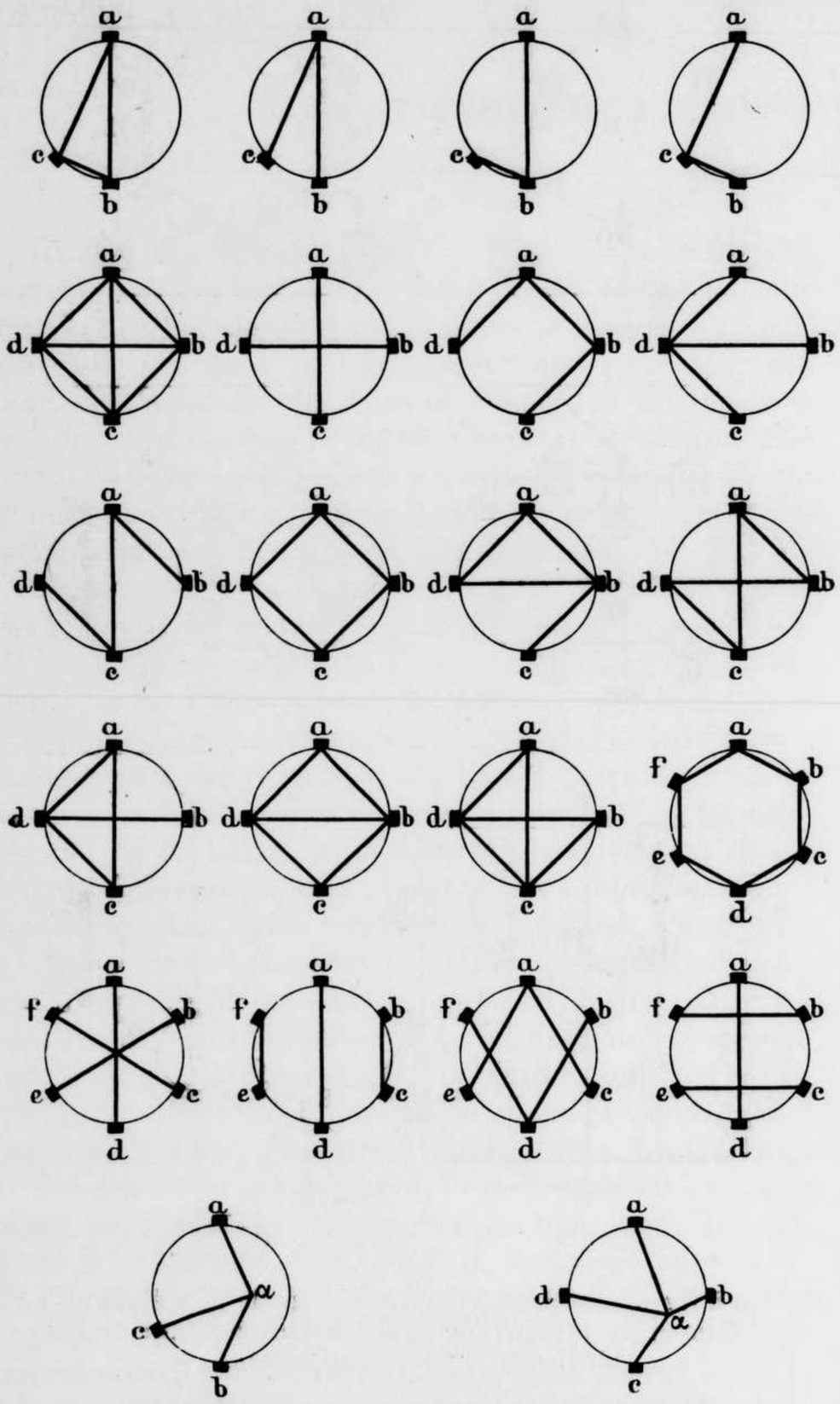


Fig. 55 à fig. 76. — Diagrammes de filiation entre la métadyne et les pliodynes équivalentes.

équivalente. Partons, par exemple, du schéma de la figure 77 relatif à une métadyne montée en huit et sur laquelle est appliqué le treizième mode de réalisation, celui du balai déplaçable. Appliquons le diagramme de filiation de la figure 64 et la deuxième règle du paragraphe précédent; enfin reportons les ruptures nécessaires aux balais mobiles et nous obtiendrons la pliodyne de la figure 78 sur laquelle on a figuré la régulatrice R et la modulatrice M.

5. Comparaison d'une métadyne et d'une pliodyne équivalente. — Il est important de faire la comparaison d'une métadyne et de la pliodyne équivalente. Cette comparaison peut être faite en considérant le poids et le fonctionnement,

En ce qui concerne le poids on pourra faire encore usage de l'indice de dimensions, mais à condition de tenir compte du fait que la métadyne est, en général,

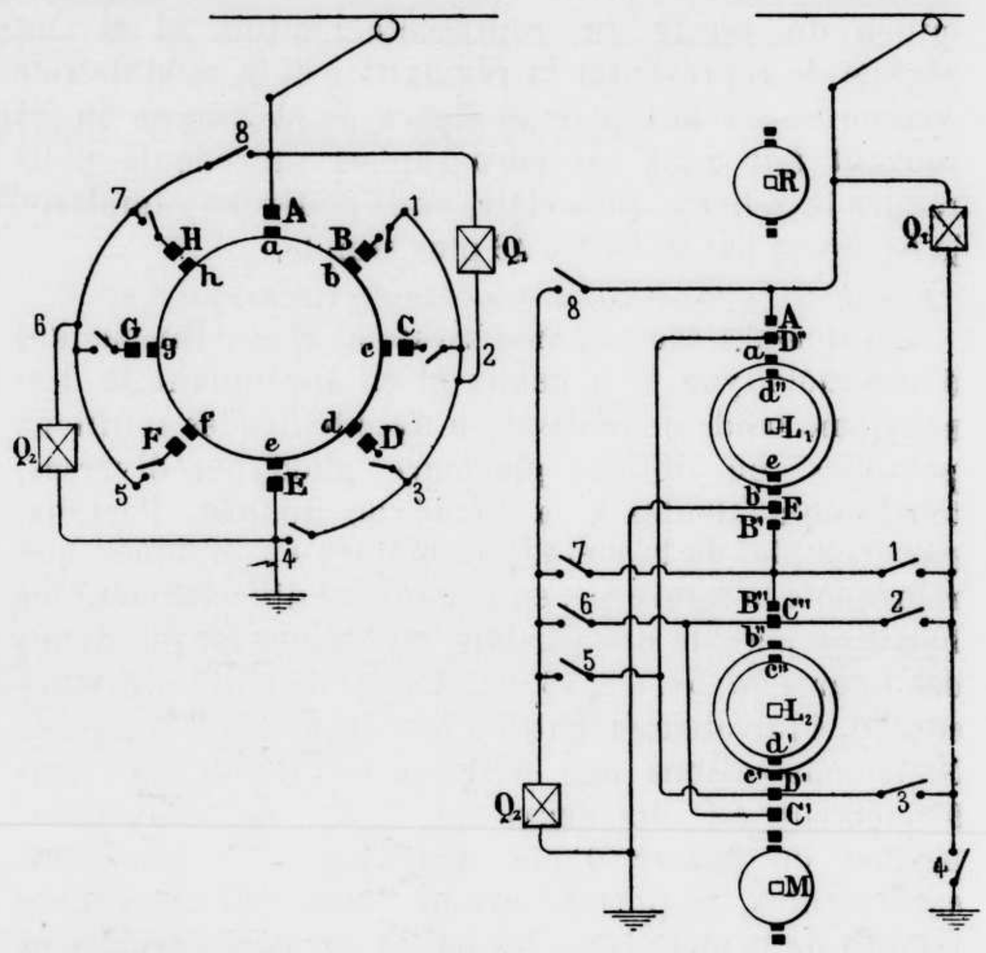


Fig. 77 et fig. 78. — Schémas d'une pliodyne équivalente à la métadyne en huit avec application du diagramme de filiation de la figure 64.

une machine unique, tandis que la pliodyne est composée de plusieurs machines plus petites et l'indice de cette dernière doit, par conséquent, être affecté d'un coefficient plus grand que l'unité, qui est au moins de l'ordre de 1,7 comme il a été déjà dit à propos du groupe moteur-générateur.

A titre d'exemple nous considérons la métadyne en croix de la figure 6 de laquelle nous pouvons tirer de nombreuses pliodynes équivalentes ; mais nous nous limiterons à celle représentée par la figure 79 et qu'on obtient par le diagramme de filiation de la figure 64 et à celle représentée par la figure 80 et qu'on obtient par le diagramme de filiation de la figure 60.

Afin de calculer correctement la valeur de l'indice de dimensions, il faut se rappeler que la valeur I_z qui figure dans la formule (1) tient compte de l'effet Joule développé dans l'induit. Soit r la résistance de l'enroulement induit de la métadyne à un seul collecteur, entre deux points diamétralement opposés de cet enroulement; alors si

$$I_z = \sqrt{\frac{2}{\pi} \Sigma \theta_{ab} I_{ab}^2},$$

le produit rI_z^2 est l'effet Joule dans l'induit. Nous

avons déjà trouvé pour la métadyne de la figure 6 l'indice de dimensions

$$D_m = \frac{(1+k)\sqrt{1+k^2}}{2k} \quad (1) \qquad (44)$$

où

$$k = \frac{V_{bd}}{V_{ac}} = \frac{I_a}{I_b}.$$

Dans le cas de la pliodyne de la figure 79, il est facile de voir que les courants dans les différentes dynamos sont nécessairement égaux aux courants réels dans les

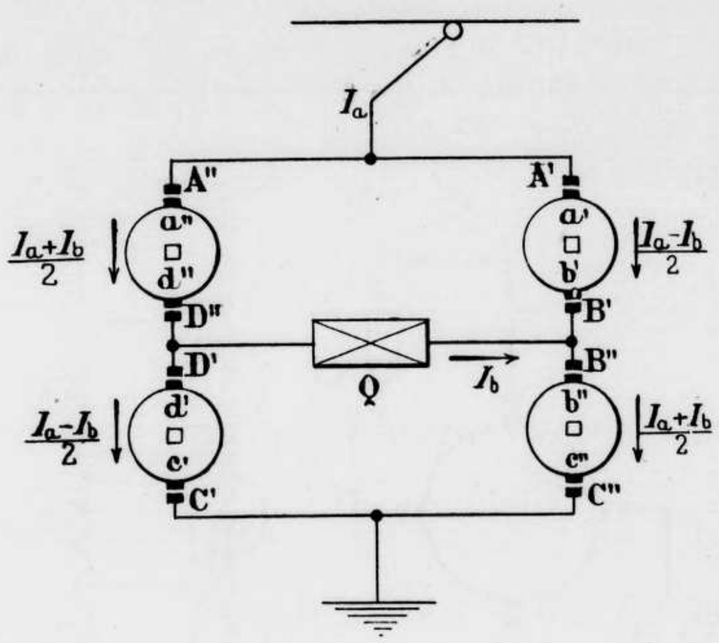


Fig. 79 et fig. 80. — Schémas de pliodynes équivalentes à la métadyne en croix suivant le montage indiqué sur la figure 6.

segments correspondants de l'induit de la méladyne et que, par conséquent, la distribution représentée sur cette figure est correcte. Nous avons pour chaque dynamo

$$V_z = V_{bd}\frac{1+k}{2k}. \qquad (45)$$

(1) Rappelons ici qu'au numérateur de l'indice de dimensions tel qu'il a été défini à la page 813, figurent des produits dont un facteur, la tension V_z, est proportionnel au flux, au nombre de spires de l'induit et à la vitesse angulaire et l'autre facteur, le courant I_z, est proportionnel à la section de cuivre de chaque spire de l'induit, en admettant qu'à un échauffement maximum admis corresponde la même densité de courant, les conditions de ventilation restant les mêmes toujours On établira par la suite les formules relatives aux pliodynes en tenant compte de cette remarque.

Alors le courant dans deux des dynamos sera

$$\frac{1}{4}(I_a + I_b)$$

pour chacune d'elles et pour chacune des deux autres

$$\frac{1}{4}(I_a - I_b);$$

donc on serait tenté de faire la somme sous la forme suivante

$$\Sigma V_z I_z = 2 V_{bd}\frac{1+k}{2k}[1+k+1-k]\frac{I_b}{2}. \qquad (46)$$

Or, il faut noter que pour la métadyne une section quelconque de l'induit est parcourue par le courant $1/2\ (I_a + I_b)$ et le courant $1/2\ (I_a - I_b)$ successivement avec une fréquence du cycle qui est de l'ordre de $2 \times 25 = 50$ p : s jusqu'à $2 \times 60 = 120$ p : s et il est tout à fait légitime de considérer pour l'échauffement uniquement la valeur efficace calculée en partant de ces deux courants, valeur qui nous conduit à la formule (44). Tandis que dans la pliodyne, la section d'une dynamo est parcourue toujours par le même courant et, comme naturellement nous supposons que la tension V_{bd} doit pouvoir prendre toute valeur négative de module égal aux valeurs positives, il faudra mettre sur chaque dynamo le cuivre correspondant à la plus forte charge. Donc au lieu de (46) on a

$$\Sigma V_z I_z = 2 V_{bd}\frac{1+k}{2k}[1+k+1+k]\frac{I_b}{2}. \qquad (47)$$

En notant que $V_{bd} = V_q$ et $I_b = I_q$, on a pour la pliodyne

$$D_p = \frac{(1+k)^2}{2k}, \qquad (48)$$

valeur toujours plus grande que D_m quelle que soit la valeur de k.

Si le fonctionnement est tel que chaque dynamo de la pliodyne est traversée successivement par le courant $1/2\ (I_a + I_b)$ et le courant $1/2\ (I_a - I_b)$ avec un cycle d'une brève durée, de l'ordre de la seconde, on pourra prendre la formule (46) au lieu de la formule (47) ce qui nous conduirait à

$$D'_p = \frac{1+k}{2k} \qquad (49)$$

qui donne des valeurs toujours inférieures à D_m quel que soit k. En pratique on n'a pas de cycles de fonctionnement aussi brefs et la formule (49) n'est alors plus correcte.

Passons à la pliodyne de la figure 78 ; c'est tout simplement un moteur générateur et alors on a

$$D_g = 1 \qquad (50)$$

valeur toujours inférieure à D_m. Si l'on tient compte

du coefficient de subdivision de la pliodyne en petites machines que nous avons mentionné plus haut, l'avantage reste pour la métadyne sur une large zone des valeurs pratiques de k.

En ce qui concerne le fonctionnement, on peut obtenir d'une pliodyne, en général, un fonctionnement analogue à celui de la métadyne équivalente, mais avec des enroulements statoriques plus importants et plus nombreux, car souvent, les ampères-tours rotoriques de la métadyne sont des ampères-tours utiles à l'aimantation du circuit magnétique, tandis que dans la dynamo, c'est-à-dire dans la pliodyne, les ampères-tours rotoriques sont presque toujours nuisibles. Ceci donne un avantage supplémentaire à la métadyne en ce qui concerne le poids. Souvent enfin dans une pliodyne la commutation se fait pour un courant plus intense que dans la métadyne équivalente.

On ne trouve pas entre une métadyne et une pliodyne équivalente bien choisie des différences capitales, mais les avantages de poids, de simplicité de connexions, de souplesse de fonctionnement, sont, en général, en faveur de la métadyne.

6. Modulatrice distributrice sous forme de métadyne. — Le dix neuvième mode de réalisation se rapporte aussi au passage d'une pliodyne donnée à une métadyne équivalente ; les diagrammes de filiation restent les mêmes et sont tout aussi utiles. La solution d'un problème donné peut paraître d'abord plus naturelle sous la forme d'une pliodyne ou bien sous la forme d'une métadyne, mais il est souvent utile d'appliquer le dix-neuvième mode de réalisation et de passer d'une forme à l'autre de la solution pour choisir la plus adéquate au cas pratique considéré. Ainsi, la modulatrice distributrice indiquée par le dix-septième mode de réalisation a été présentée plus haut sous la forme d'une pliodyne. Fixons-nous un exemple et passons à la métadyne équivalente. Soit le cas d'une métadyne à cycle unique montée en huit et conduisant quatre moteurs identiques subdivisés en deux jeux de deux moteurs en parallèle chacun comme l'indique la figure 81. C'est la modulatrice distributrice qui assurera alors une égale répartition du courant dans les quatre moteurs soumis à une différence de potentiel égale, malgré les défauts de construction ou les écarts de la dyssymétrie dans le fonctionnement. Conformément au dix-septième mode de réalisation, on peut construire cette modulatrice distributrice avec quatre dynamos à arbres solidaires, accouplées comme l'indique le schéma de la figure 82, où X_1, X_2, X_3, X_4, sont les quatre enroulements inducteurs des quatre moteurs conduits. Appliquons le dix-neuvième mode de réalisation avec l'intermédiaire du diagramme de filiation de la figure 83 et nous avons la métadyne à cinq balais représentée par la figure 84. Admettons pour la métadyne l'enroulement à tambour à pas diamétral, et soit

$$g = \text{arc ab} = \text{arc bc} = \text{arc cd} = \text{arc de} = \frac{\pi}{4};$$

admettons aussi que

$$S_A + S_E = 0;\ S_B + S_{B'} = 0;\ S_C + S_{C'} = 0;\ S_D + S_{D'} = 0.$$

Les équations du régime stationnaire sont

$$\left.\begin{aligned} V_{ab} &= -NKg^2(3I_a + 3I_b + 2I_c + I_d + N\Lambda g S_A,\\ V_{bc} &= -NKg^2(I_a + 2I_b + 2I_a + I_d) + N\Lambda g S_B,\\ V_{cd} &= NKg^2(I_a - I_c - I_d) + N\Lambda g S_C,\\ V_{de} &= NKg^2(3I_a + 2I_b + I_c) + N\Lambda g S_D. \end{aligned}\right\} \quad (51)$$

Il faut identifier le second membre de ces équations (51) au second membre des équations correspondantes

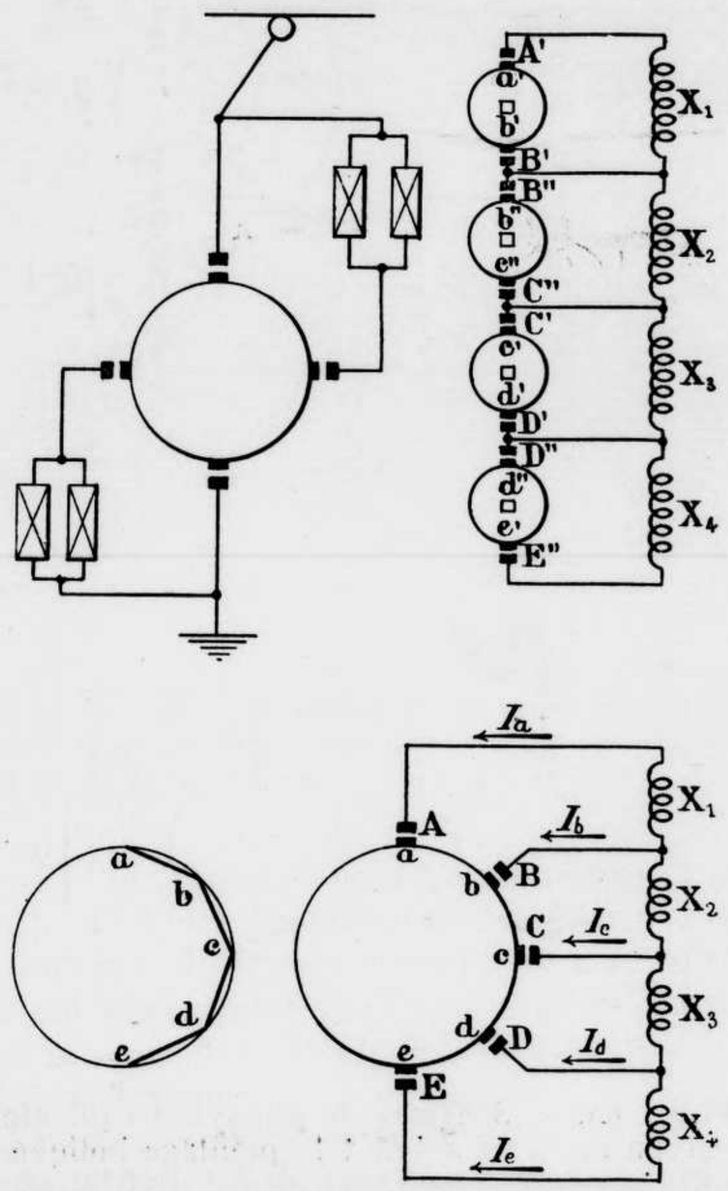


Fig. 81 à fig. 84. — Schémas et diagrammes relatifs à la métadyne en huit conduisant quatre moteurs fonctionnant en modulatrice distributrice.

(52) suivantes qui sont relatives aux quatre dynamos de la pliodyne de la figure 80

$$\left.\begin{aligned} V_{a'b'} &= NK_m(T - HI_1),\\ V_{b''c''} &= NK_m(T - HI_2),\\ V_{c'd'} &= NK_m(T - HI_3),\\ V_{d''e''} &= NK_m(T - HI_4), \end{aligned}\right\} \quad (52)$$

où I_1, I_2, I_3, I_4 sont les courants d'induit des quatre moteurs conduits, K_m, une constante de construction, T, les ampères-tours que l'on aurait mis sur le

stator de la même dynamo fonctionnant en modulatrice seulement, H, le nombre de spires parcourues par le courant de l'induit correspondant conformément au dix-septième mode de réalisation.

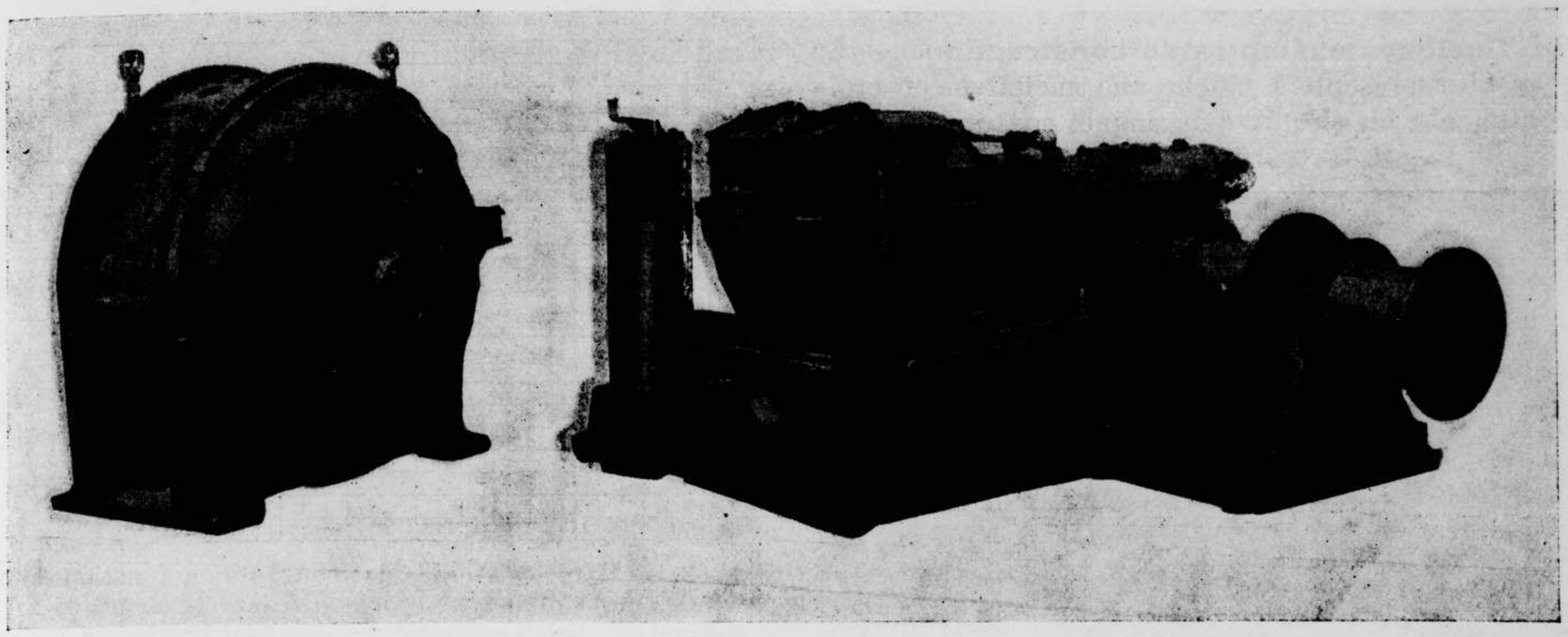


Fig 85. — Vue d'une métadyne en croix, à gauche devant conduire un moteur de guindeau, à droite.

Par conséquent on fera

$$\begin{aligned}
\Lambda g S_A &= Kg^2(3I_a + 3I_b + 2I_c + I_d) + K_m(T - HI_1) \\
&= -Kg^2(3I_e + I_c + 2I_d) + K_m(T - HI_1), \\
\Lambda g S_B &= Kg^2(I_a + 2I_b + 2I_c + I_d) + K_m(T - HI_2) \\
&= -Kg^2(I_e + I_b + I_c) + K_m(T - HI_2), \\
\Lambda g S_C &= Kg^2(-I_a + I_c + I_d) + K_m(T - HI_3), \\
\Lambda g S_D &= -Kg^2(3I_a + 2I_b + I_c) + K_m(T - HI_4).
\end{aligned}$$

Il est à noter que, en général, on a $I_a + I_e = 0$ sen-

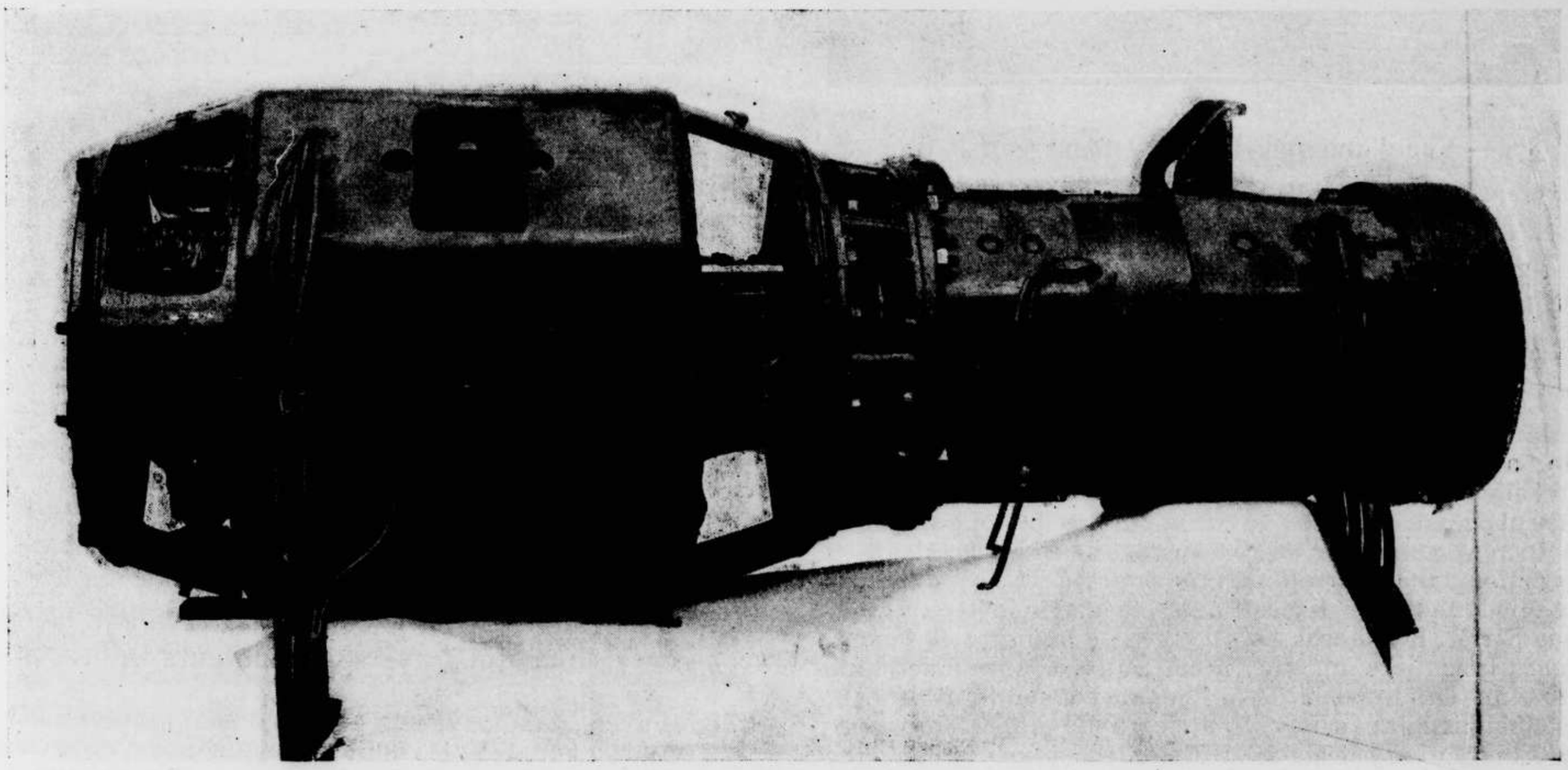


Fig. 86. — Vue d'une métadyne en huit accouplée à des machines auxiliaires pour automotrices.

siblement et que I_b, I_c, I_d sont très faibles, quelques centièmes de I_a. Donc sur la métadyne la commutation du courant I_a a lieu deux fois, tandis que sur la pliodyne elle a lieu huit fois.

Quand on passe d'une pliodyne à une métadyne ou inversement, on peut trouver utile de subdiviser la pliodyne en plusieurs sections dont chacune forme une pliodyne distincte, et l'on peut transformer cette sec-

tion en une métadyne distincte, ou bien la laisser sous forme de pliodyne, cette section pouvant être une simple dynamo. La figure 44 en est un exemple (1).

IV. **Quelques exemples de construction.** — La figure 85 représente à gauche une métadyne en croix qui alimente un circuit dans lequel sont insérés plu-

Fig. 87. — Vue d'une métadyne en trident pour la traction.

sieurs moteurs de guindeau. Le moteur du guindeau qui figure à droite de la photographie, est lui-même une pseudométadyne en croix. La figure 86 représente une métadyne en huit accouplée à d'autres machines

(1) La pliodyne de la figure 79 sous la forme particulière qu'elle prend quand elle est alimentée sous tension constante, a la caractéristique fondamentale I_b = constante, quand elle est dépourvue d'enroulements stabilisateurs statoriques et quand, à la place de la régulatrice il y a une dynamo directement connectée au réseau sous tension constante et sans action sur les enroulements statoriques des dynamos de la pliodyne ; cette disposition a été imaginée depuis longtemps par M. Boucherot. La pliodyne de la figure 78 sous la forme particulière qu'elle prend quand elle fonctionne comme un subdiviseur de la tension constante du réseau, sans stabilisateur et sans régulatrice. a été proposée et appliquée à la traction par M. della Riccia. Une pliodyne analogue à la précédente est due à M. Somaini et elle est également appliquée à la traction. M H.-E. Newton a proposé en 1882 une machine électrique ayant deux jeux de balais diamétralement opposés, un jeu étant utilisé pour fournir le courant d'excitation créant le flux qui induit la force électromotrice entre les balais de l'autre jeu. L'inventeur connu, M. Déri, a proposé une machine analogue en 1907 ; il y a encore la machine de Rosenberg souvent appliquée pour l'éclairage des véhicules. Toutes ces machines, quoique présentant des auxiliaires et destinée à des automotrices, tandis que la figure 87 montre la vue d'une métadyne en trident

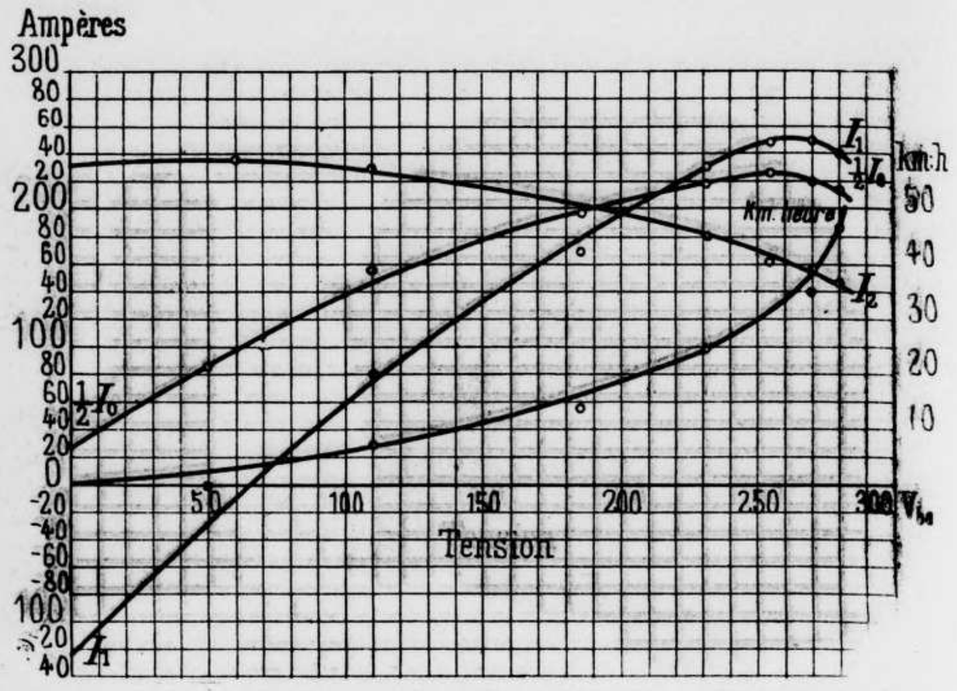


Fig. 88. — Caractéristiques des courants en fonction de la tension de la métadyne représentée sur la figure 86 : I_1, courant aux balais primaires ; I_2, courant aux balais secondaires ; I_0, courant fourni par le réseau

pour la traction à haute tension. La figure 88 donne des courbes relevées aux essais sur rails avec la métadyne en huit de la figure 86 : I_1 est le courant qui va

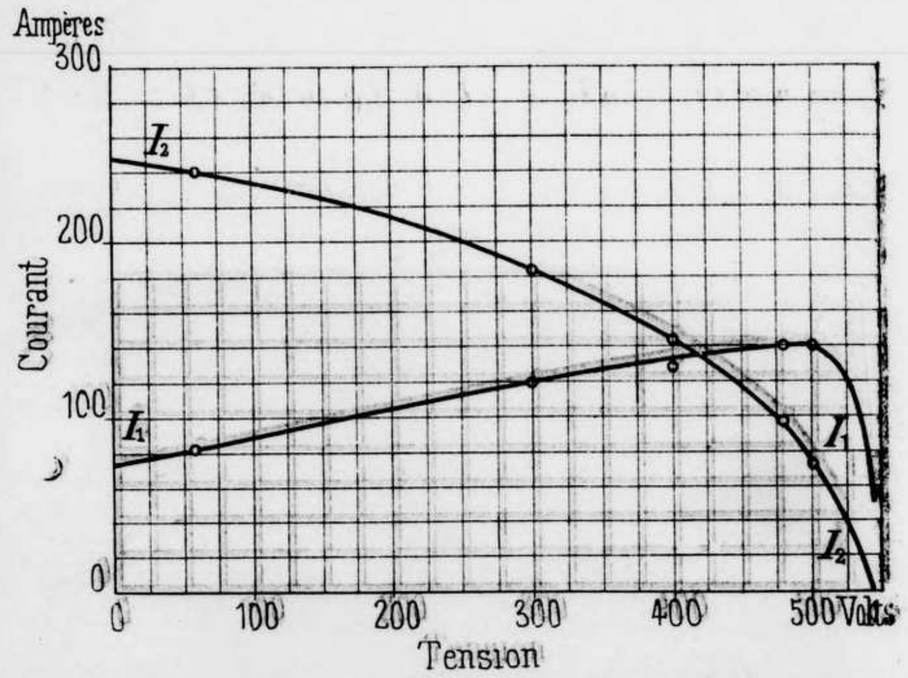


Fig. 89. — Caractéristiques des courants et de la vitesse en fonction de tension de la métadyne représentée sur la figure 87 : I_1, courant fourni par le réseau ; I_2, courant fourni par la métadyne.

aux balais primaires, I_2, le courant qui va aux balais secondaires, donc qui traverse les moteurs de traction

analogies avec la métadyne en croix, ne sont pas des métadynes conformément à la définition que nous en avons donnée, elles sont des « pseudométadynes ». Il nous semble, d'ailleurs, qu'il n'y a eu d'applications de ces machines que pour de petites puissances. La Société Brown, Boveri et Cie a également proposé, depuis 1907, la pliodyne de la figure 80 mais sous la forme spéciale qu'elle prend quand sa caractéristique est I_b = constante et quand elle est dépourvue de stabilisateur et de régulatrice.

D'autres suggestions ou applications ont probablement pu être faites.

et I_0, le courant fourni par le réseau. Sur la figure 89 sont tracées les courbes relevées aux essais sur rails de la machine représentée sur la figure 87 : I_1 est le courant fourni par le réseau à la métadyne, et I_2, celui fourni par la métadyne aux moteurs de la locomotive. Comme abscisses on a porté la tension fournie par la métadyne aux moteurs.

V. **Conclusion.** — Nous pouvons conclure de cette étude, et de celles qui précèdent (1) et qui ont été mentionnées plus haut, que les métadynes peuvent être considérées comme la forme la plus générale des machines à courant continu, embrassant la dynamo comme un simple cas particulier, mais important. Malgré le nombre et la diversité des métadynes nous avons ramené leurs caractères essentiels à des principes communs. A côté des propriétés de la dynamo, elles en ont d'autres qui leur confèrent une grande souplesse d'adaptation et qui conduisent à des applications variées, élargissant ainsi sensiblement le domaine d'action du courant continu.

J.-M. PESTARINI.

Revues, analyses et informations

Décharges plasmoïdales oscillatoires à haute fréquence dans le vide « non conducteur » (2).

1. DÉCHARGES PLASMOIDALES. — L'auteur décrit dans ce mémoire un nouveau type de décharge dans le vide, dit non conducteur, excitée par un courant oscillant de force électromotrice relativement faible, mais de fréquence élevée, correspondant à une longueur d'onde comprise entre 1,7 et 30 m, et où apparaissent des effets lumineux remarquables, tels que sphères, aiguilles et poires lumineuses. Une étude des conditions dans lesquelles ces figures se forment. ainsi que leur comportement dans le champ magnétique, a conduit à la conclusion que des charges superficielles jouent un rôle dans leur formation. Elles se présentent comme formées de molécules excitées, car leurs spectres sont des spectres de bandes moléculaires (CO ou CO^2). On leur a donné le nom provisoire de plasmoïdes, d'après une nomenclature due à Langmuir.

2. PHOSPHORESCENCE ROUGE DE LA PAROI DE VERRE. — Cette phosphorescence apparaît dans tous les tubes contenant de l'oxygène à très basse pression ; elle semble due à de lents électrons secondaires, en combinaison avec des atomes d'oxygène excités. L'auteur a étudié son comportement dans le champ magnétique et il a constaté que cette phosphorescence rouge apparaît lorsqu'un plasmoïde est dévié vers la paroi par un aimant. Elle n'apparaît qu'au bout de quelques minutes d'action de la décharge à haute fréquence sur le verre du tube et elle évolue vers le rouge rubis brillant. La même surface du verre présente une phosphorescence verte sous l'impact d'électrons à grande vitesse émis par la surface interne de la paroi de verre lorsque la cathode, extérieure au tube, est portée à des potentiels plus élevés. Il peut arriver que des bandes juxtaposées de phosphorescence rouge et verte apparaissent simultanément ; elles peuvent être séparées par le champ magnétique.

3. RECHERCHES SPECTROSCOPIQUES. — L'auteur a étudié les spectres des plasmoïdes, de leurs nappes sombres et du gaz moins lumineux qui les entoure en projetant leurs images sur la fente d'un spectroscope. Dans tout le tube, on retrouve le spectre de l'oxygène moléculaire, gaz qui paraît emprunté à la paroi de verre du tube ; mais ce spectre est plus intense dans les plasmoïdes, et plus faible dans leurs plages sombres ; les lignes atomiques de l'oxygène sont également perceptibles.

4. NATURE GÉNÉRALE DE LA DÉCHARGE. — Il existe deux types de décharge, l'une aux très bas potentiels, qui rappelle la décharge de Townsend, non modifiée par les charges volumiques ou superficielles, l'autre plus brillante qui apparaît soudain lorsqu'on élève graduellement le potentiel. Les plasmoïdes, cependant, paraissent se former dans les deux cas, mais avec des changements de forme et de distribution dans le tube lorsqu'on passe d'un type de décharge à l'autre. Dans tous les cas, l'auteur, au cours de ses expériences, a fait usage d'électrodes extérieures au tube. — L. B.

(1) J.-M. PESTARINI. *Revue générale de l'Electricité*, loc. cit.
(2) B.-W. WOOD. *The physical Review*, avril 1930, t. XXXV, (2e série) p. 673-693, 8000 mots, 13 figures.

La chute de potentiel entre strates dans la décharge électrique traversant l'hydrogène raréfié (1).

Ce mémoire est consacré à l'étude des variations de la différence de potentiel entre les strates de la colonne positive de l'hydrogène, en fonction de la pression du gaz. En effet, avec ce gaz, la distance entre les strates change avec la pression d'une façon anormale. Lorsque la pression décroît, la distance des strates croît tout d'abord, passe par un maximum, puis par un étroit minimum pour une pression comprise entre 1 200 et 2 500 baryes. La couleur des strates est bleuâtre dans le domaine des pressions qui correspond au minimum, et rougeâtre aux autres pressions.

On trouve que la chute de potentiel entre les strates croît constamment avec la pression, de 12 v sous 300 baryes, à 32,6 v sous 3 700 baryes, l'intensité du courant étant de 6 mA. On n'a pas observé de changements anormaux de la chute de potentiel en traversant la zone de pression des strates bleuâtres voisines. L'auteur a, d'autre part, cherché quelles corrections il y a lieu d'apporter aux valeurs précédemment obtenues pour les pertes d'énergie subies par les électrons au cours de leurs chocs élastiques avec les molécules en passant d'une strate à une autre : ces corrections se sont montrées négligeables pour des pressions inférieures à 600 baryes, et elles s'élèvent à 7,5 v sous 3 700 baryes. Les énergies moyennes acquises par les électrons entre les strates sont donc loin d'être égales, sous les deux pressions précitées.

(1) J. ZELENY. *Journal of the Franklin Institute*, mai 1930, t. CCIX, p. 625-638, 5000 mots, 2 figures.

A l'aide d'un procédé spécial, l'auteur a réussi à faire coexister en divers points du même tube les étroites strates bleuâtres et les larges strates rougeâtres ; il a trouvé que l'énergie acquise par les électrons entre deux strates était, dans ces conditions, égale à 13,5 fois le produit d'un volt par la charge d'un électron pour les strates bleues, et 19,4 ce produit pour les strates rouges, la pression du gaz étant de 1600 baryes et l'intensité du courant, de 7 mA.

Il ne semble pas probable que la pureté du gaz ait été différente dans les diverses portions du tube, bien que quelques auteurs soutiennent que les strates bleues sont le signe de la présence d'impuretés.

L'auteur montre en terminant que la lumière bleue ne peut provenir que d'un état excité de la molécule ayant une énergie d'au moins 14,5 fois le produit d'un volt par la charge d'un électron au-dessus du niveau fondamental. Dans les régions où les électrons acquièrent entre les strates une énergie moindre, il est nécessaire de supposer qu'ils reçoivent le complément, indispensable pour porter les molécules au niveau requis, de chocs de seconde espèce avec des molécules d'impuretés ayant des niveaux d'excitation bien plus bas que ceux caractérisant l'hydrogène. — L. B.

La photoionisation du césium par l'absorption discontinue (1).

Dans ce mémoire, les auteurs étudient l'ionisation du césium par l'absorption discontinue en utilisant la méthode de la charge spatiale. Dans ce but, ils font usage d'une lumière monochromatique, et mesurent la sensibilité relative dans la région de l'absorption discontinue, comparée à la région d'absorption continue.

1. Ionisation par un spectre continu. — L'effet est directement proportionnel à l'intensité lumineuse. La sensibilité relative est indépendante des conditions électriques et de la température de la vapeur. La réduction de l'effet par une colonne absorbante de vapeur de césium placée sur le parcours de la lumière indique que la largeur effective d'une ligne d'absorption est d'environ 0,07 Å à la pression de 4 baryes. Cette largeur croît avec la pression. La sensibilité relative croît rapidement avec la pression de la vapeur entre 0,27 et 5,3 baryes ; elle diminue rapidement pour une pression supérieure à 13 baryes.

2. Ionisation par une radiation monochromatique. — La ligne $\lambda = 3888$ Å de l'hélium coïncide avec une des lignes du césium et, en mesurant l'absorption de cette radiation par la vapeur de césium et la photoionisation produite, on peut déterminer la probabilité d'ionisation d'un atome excité à l'état 4 P, en fonction de la pression de la vapeur.

3. Discussion. — Les mesures de sensibilité relative à l'excitation par le spectre continu, après avoir subi les corrections d'absorption et de largeur de fente, donnent la probabilité d'ionisation d'atomes excités aux états 4 à 8 P et supérieurs, soit voisins de de 9 P, 12 P, 16 P et 25 P. Cette probabitité se montre proportionnelle à la chance qu'a un atome excité d'en choquer un autre durant l'existence de l'état excité. La probabilité d'ionisation au cours d'un choc varie d'une valeur presque égale à l'unité pour les états supérieurs à 0,003 pour l'état 4 P. Les résultats obtenus sont conformes à une théorie de Frank, selon laquelle l'ionisation résulte de la combinaison d'atomes excités et d'atomes normaux pour former des ions moléculaires. — L. B.

(1) F.-L. Mohler et C. Boeckner. *Bureau of Standards Journal of Research*, juillet 1930, t. v, p. 51-71, 4500 mots, 12 figures.

L'effet de champs électriques intenses sur les propriétés photoélectriques des métaux (1).

Les auteurs étudient l'effet photoélectrique de minces couches pelliculaires de potassium et d'oxygène sur le tungstène en fonction de champs accélérants intenses, pouvant aller jusqu'à 63000 v : cm. Ces champs déplacent les seuils photoélectriques vers le rouge, à peu près proportionnellement à la racine carrée de l'intensité du champ appliqué. Un champ appliqué de 35000 v : cm éloigne le seuil photoélectrique d'une couche de potassium pur sur tungstène de 5620 Å à 5880 Å. Une couche pelliculaire de potassium déposée sur une très épaisse couche d'oxygène sur tungstène présente un seuil à 6800 Å qui ne varie pas avec le champ accélérateur appliqué. Cependant, la grandeur de l'émission croît avec le champ, ce qui suggère que ces couches épaisses d'oxygène sont irrégulières et que les champs appliqués sont bien plus petits que ceux calculés d'après les dimensions des électrodes.

Une couche de potassium déposée sur une mince couche d'oxygène sur tungstène manifestait un seuil à 7350 Å pour des champs appliqués faibles et se déplaçant à 7575 Å pour un champ de 18600 v : cm. Une couche pelliculaire de potassium sur une couche plus mince d'oxygène, d'épaisseur inférieure peut-être à celle d'une couche monoatomique, manifestait pour les champs à faible intensité un seuil à 5830 Å, qui se déplaçait à 5960 Å pour un champ appliqué de 18600 v : cm.

Des observations de variations de déplacement avec le champ appliqué, on a pu déduire les champs superficiels selon le procédé de Becker et Mueller. Les auteurs ont trouvé que, à l'extérieur de la couche pelliculaire de potassium déposée sur une mince couche d'oxygène sur tungstène, le champ suivait très exactement la loi des images de Schottky dans le domaine de $1{,}5 \times 10^{-6}$ cm à 10^{-5} cm de la surface. La couche pelliculaire de potassium pur sur tungstène manifestait des champs superficiels qui étaient exactement des champs d'images entre 8×10^{-7} et $1{,}5 \times 10^{-6}$ cm de la surface, mais s'en écartaient à de plus grandes distances.

Les champs superficiels en excès sur les champs d'image sont attribuables à des hétérogénéités de surface.

Les déplacements des seuils photoélectriques par de forts champs accélérateurs sont d'un intérêt théorique tout particulier, car ils impliquent des changements de la fonction travail d'une surface, sans altération des autres caractéristiques importantes du métal. Les auteurs ont trouvé que la forme de la courbe de la sensibilité photoélectrique en fonction de la fréquence restait inchangée dans le domaine des observations et se déplaçait avec les seuils dans les champs intenses. Les seuils ne sont pas brusques, mais se raccordent tangentiellement à l'axe des fréquences.

Ces observations sont en excellent accord avec la théorie de l'effet photoélectrique basée sur la mécanique ondulatoire et la distribution de Fermi-Dirac des électrons dans les métaux établie par Wentzel et modifiée par Houston. — L. B.

(1) E.-O. Lawrence et L.-B. Linford. *The physical Review*, 1er août 1930, t. xxxvi (2e série), p 482-497, 4 000 mots, 5 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Pompes centrifuges d'alimentation pour chaudières à très haute pression

Dans le cas de chaudières à très haute pression, il y a un réel intérêt à prévoir le réchauffage de l'eau d'alimentation à une température qui peut être supérieure à 100 degrés centésimaux. Cette circonstance impose des conditions spéciales aux pompes d'alimentation ; ce sont ces conditions qui sont précisées dans l'article qui suit. L'auteur décrit ensuite les solutions adoptées par la maison Klein, Schanzlin et Becker, à Frankenthal ; dans la construction de ses pompes centrifuges d'alimentation pour vaincre les difficultés rencontrées dans la conception et la construction de ces appareils. Ensuite sont donnés des renseignements sur des installations présentant quelque particularité et sur les caractéristiques de quelques modèles de pompes conçus suivant les principes exposés au début de l'article.

I. **Conditions imposées.** — Le réchauffage de l'eau d'alimentation est, au point de vue économique, aussi important dans le rendement des chaudières et, d'une façon générale, de l'installation thermique que l'emploi d'une pression élevée. La consommation spécifique de vapeur à la pression de 30 kg : cm² avec réchauffage de l'eau d'alimentation à plusieurs étages devient plus faible qu'avec la pression de 60 kg : cm², la température de l'eau d'alimentation étant de 0°C. On doit donc s'efforcer, en construisant de nouvelles installations à haute pression, d'assurer le réchauffage de l'eau d'alimentation à une température aussi élevée que possible. Dans le cas où l'eau est réchauffée après avoir traversé la pompe d'alimentation, l'emploi des pompes ordinaires est possible. Il est, alors, nécessaire d'exécuter toutes les armatures et toutes les conduites allant au réchauffeur ainsi que le réchauffeur lui-même, de façon qu'ils puissent résister à une pression plus élevée que celle de la chaudière, ce qui, dans les installations à haute pression, devient très coûteux. Si, par contre, le réchauffage est prévu, soit en amont de la pompe, soit entre les étages ou à l'intérieur de celle ci, soit enfin, si on combine ces deux solutions, la pression pour laquelle devra être prévu le réchauffeur sera de 2 à 5 kg : cm² seulement plus élevée que celle qui correspond à la plus haute température obtenue par le réchauffage.

Les températures d'eau d'alimentation supérieures ou égales à 100°C nécessitent l'emploi de réservoirs fermés pour empêcher l'évaporation de l'eau. Ces réservoirs doivent être disposés sur un plan surélevé pour assurer à la pompe une hauteur d'amenée suffisante. La pression à l'entrée dans la première roue de la pompe doit être plus élevée que celle de l'évaporation à la température donnée, afin que soit évité le désamorçage de la pompe. La pression à l'entrée dans la première roue est

$$p = p_t + H - \left(\Sigma W + \frac{c^2}{2g}\right),$$

où p_t est la pression à la bride de sortie du réservoir de l'eau d'alimentation ; H, la pression correspondant à la hauteur d'amenée entre le niveau d'eau du réservoir et le milieu de la pompe ; ΣW, la somme des pressions correspondant à toutes les pertes de charge entre le réservoir et l'entrée de la pompe ; $\frac{c^2}{2g}$, la pression correspondant à la vitesse d'entrée dans la pompe.

L'expression

$$H - \left(\Sigma W + \frac{c^2}{2g}\right)$$

doit être positive, c'est-à-dire que la somme de toutes les pertes de charge entre le réservoir et l'entrée, augmentée de celle correspondant à la vitesse d'entrée doit être inférieure à la chute d'amenée. Il faut donc que

$$\left(\Sigma W + \frac{c^2}{2g}\right)$$

soit aussi petit que possible, ce que l'on peut réaliser en adoptant des conduites d'amenée qui ne soient pas trop longues, mais larges et une entrée dans la pompe de grandes dimensions. Dans les cas où, par suite des conditions locales, la hauteur d'amenée est très restreinte, on peut diminuer, par l'emploi de roues spéciales, la valeur de $\frac{c^2}{2g}$. La hauteur d'amenée doit être de 1,5 à 2 m et, si possible, d'une valeur encore plus importante. Les mêmes considérations restent valables pour le cas où la pompe doit aspirer l'eau réchauffée contenue dans un réservoir à dépression, un réchauffage à mélange par exemple. Des coudes de faible diamètre et des passages brusques sont à éviter dans les conduites d'amenée. Les perturbations locales provoquées dans le parcours régulier des lignes de courant du liquide peuvent produire une évaporation intense qui diminue le rendement de la pompe ou provoque même un désamorçage complet.

Dans le calcul de la partie hydraulique d'une pompe centrifuge à eau chaude et celui de la puissance nécessaire à sa propulsion, il faut, tout d'abord, tenir compte de la circonstance que le poids spécifique de l'eau est inférieur à l'unité. Une pompe centrifuge pour un débit de 100 t : h et pour une contre-pression de 50 kg : cm², par exemple, doit, pour une eau à 200°C, ce qui donne un poids spécifique de 0,863 seulement, être calculée et construite pour un débit

$$Q = \frac{100}{0{,}863} = 116 \text{ m}^3 : \text{h}.$$

et pour une pression correspondant à une hauteur de colonne d'eau

$$H = \frac{50}{0{,}863} \times 10 = 580 \text{ m}.$$

La puissance nécessaire est, en outre, à déterminer suivant cette hauteur.

II. **Données générales sur la construction.** — La figure 1 représente la coupe longitudinale d'une pompe à eau chaude et à très haute pression. On

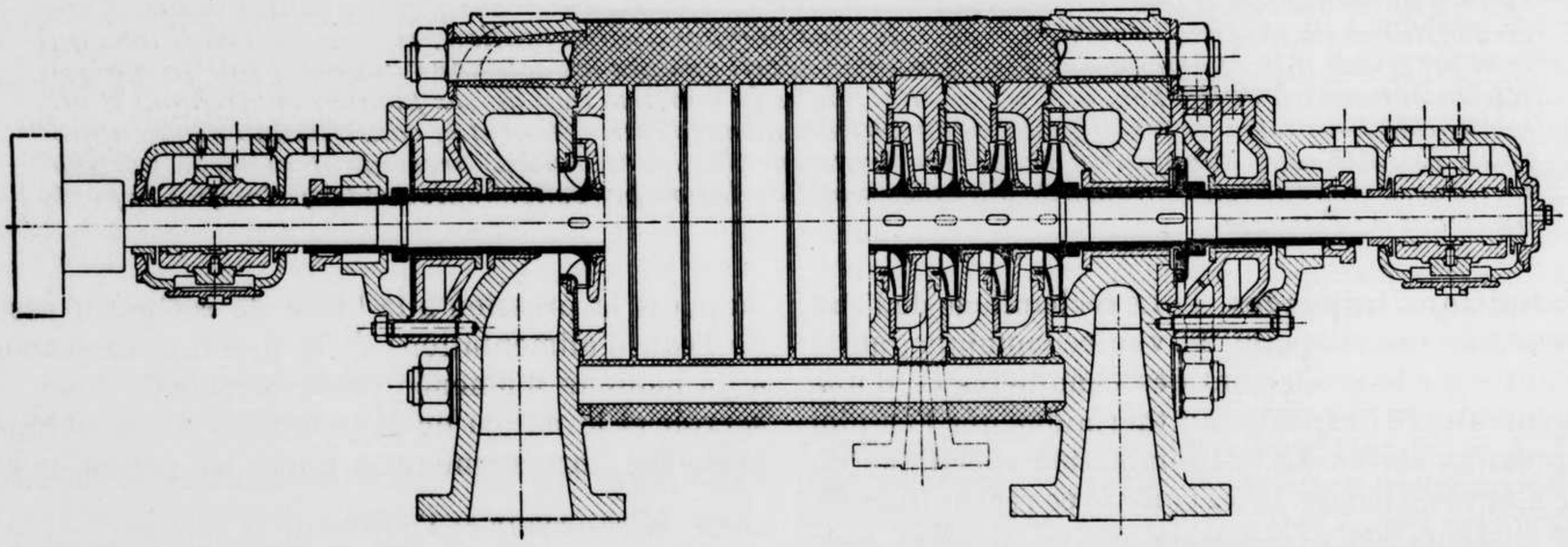


Fig. 1. — Coupe d'une pompe d'alimentation à très haute pression, pour refoulement d'eau chaude.

exécute ces pompes, même pour les plus hautes pressions dans les chaudières, avec une enveloppe unique, car elles deviennent ainsi très simples, d'un encombrement réduit, d'une grande sécurité de fonctionnement et elles ne nécessitent qu'une surveillance facile à assurer. Plusieurs pompes individuelles disposées en série pourraient donner, par suite du nombre d'étages plus élevé, un rendement un peu supérieur, mais auraient, en même temps, le désavantage que le frottement dans les presse-étoupe et dans les paliers serait plus élevé et que le presse-étoupe du côté de la haute pression nécessiterait, par suite de la température et de la pression élevées, une construction spéciale et une surveillance toute particulière.

On se contente, par conséquent, du rendement un peu moins élevé de la pompe à enveloppe unique. Le nombre et les diamètres des roues motrices et la vitesse doivent être établis dans des proportions bien déterminées ; ainsi, la vitesse la plus avantageuse pour les pompes à enveloppe unique est plusieurs fois supérieure à celles que l'on peut obtenir avec les moteurs triphasés. Il faut donc intercaler un engrenage entre le moteur et la pompe.

La liaison mécanique entre l'enveloppe de la pompe et le socle nécessite une attention spéciale dans le cas des pompes à eau chaude, surtout dans le cas des pompes comportant un réchauffage intermédiaire de l'eau d'alimentation, car de grandes différences de température existent dans le corps de la pompe. La

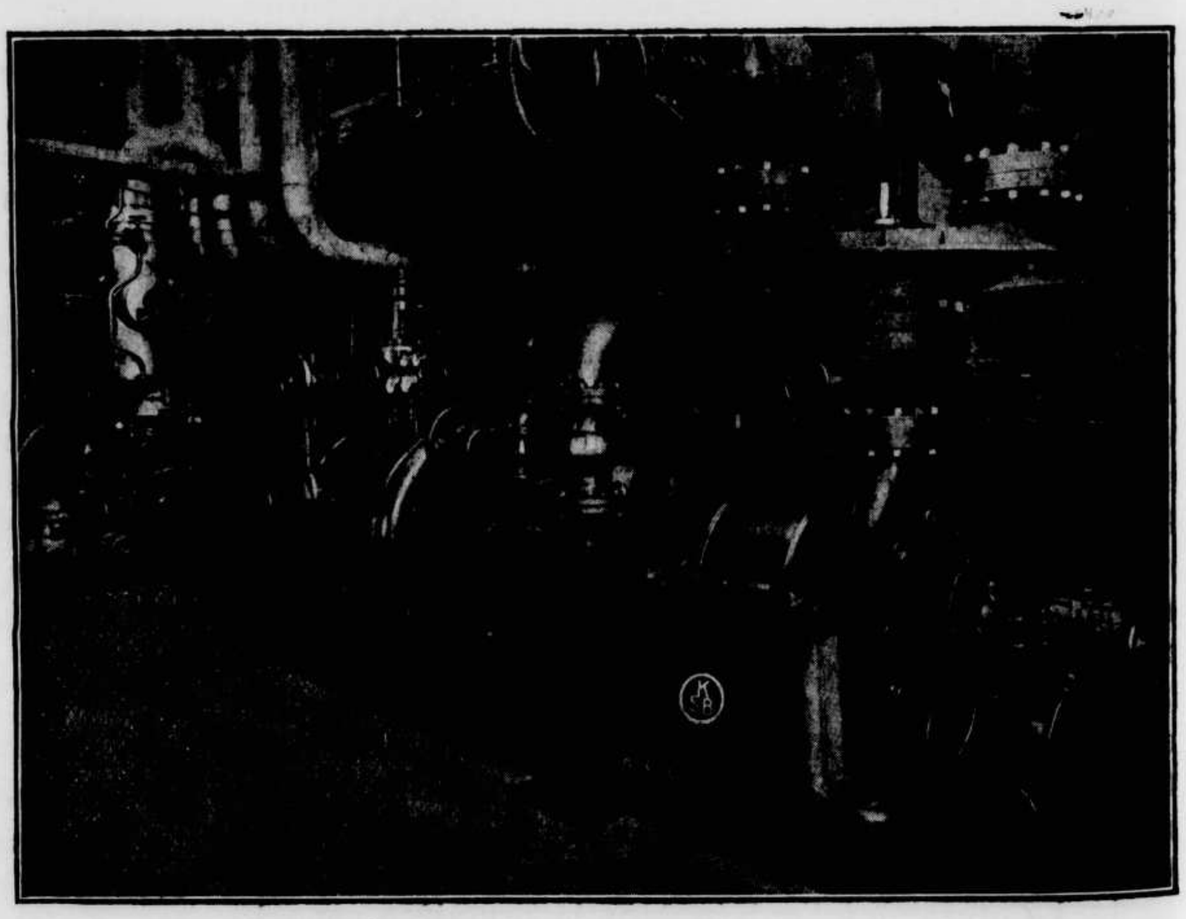


Fig. 2. — Vue d'une pompe centrifuge installée à l'usine génératrice de Mannheim.

liaison doit tenir compte de ces effets de la dilatation dans les sens radial et axial de façon que l'axe du rotor conserve toujours sa position. Il est opportun de disposer, à cet effet, les pieds de fixation de la pompe au niveau de l'arbre. On prévoit, sur une partie frontale de la pompe, dans les joints entre les pieds et le socle, des prisonniers de grandes dimensions qui servent de points d'appui et qui se trouvent, de part et d'autre

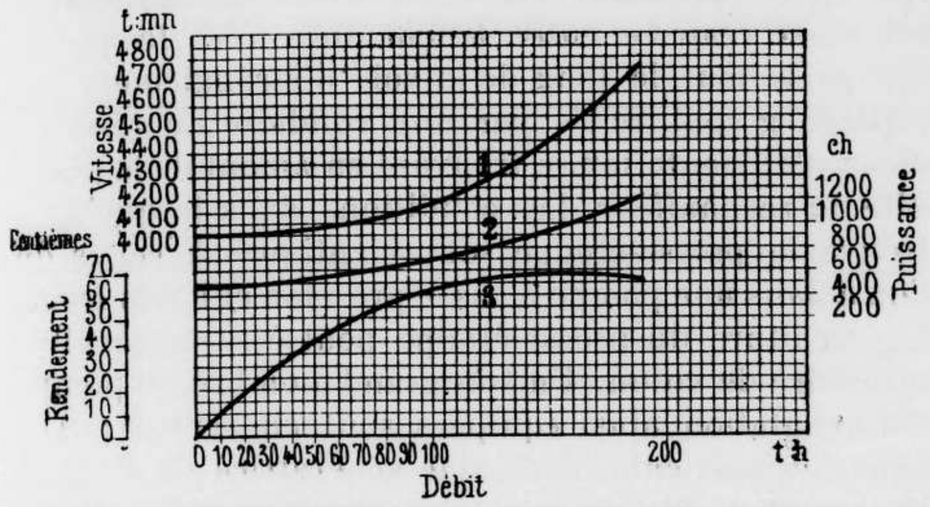


Fig. 3. — Caractéristiques, en fonction du débit, de la pompe représentée sur la figure 2 à contre-pression constante et à vitesse de rotation variable : 1, de la vitesse; 2, de la puissance; 3, du rendement.

de l'arbre, dans le même plan horizontal; pour faciliter la dilatation dans le sens longitudinal, on dispose des surfaces de glissement verticales sur la partie inférieure de la pompe de sorte que l'enveloppe de la pompe puisse s'allonger librement de tous côtés. Les

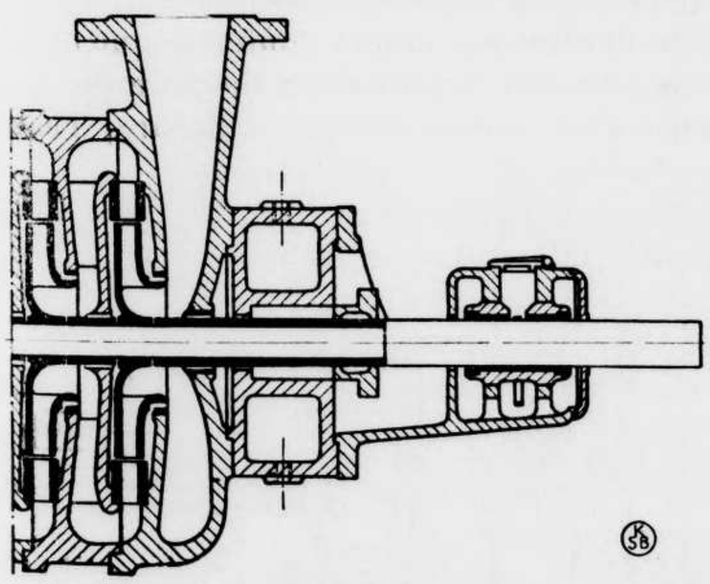


Fig. 4. — Coupe d'une partie d'une pompe de construction ancienne munie d'un presse-étoupe refroidi par eau pour température allant jusqu'à 130°C.

boulons de fixation et les pieds de la pompe sont construits de façon à pouvoir glisser facilement et avec sécurité sur le socle. La figure 2 représente une pompe à eau chaude et à très haute pression actionnée par turbine à vapeur et installée à l'usine génératrice de Mannheim; elle est prévue pour un débit de 180 t : h, pour une contre-pression de 110 kg : cm² et pour une température d'eau d'alimentation de 200 à 205°C. Les courbes caractéristiques de cette pompe sont données sur la figure 3 et montrent que le régime est stable.

Le matériel utilisé pour les divers éléments de la pompe, le corps de l'arbre, les roues motrices, etc., diffèrent d'un élément à l'autre suivant les efforts que

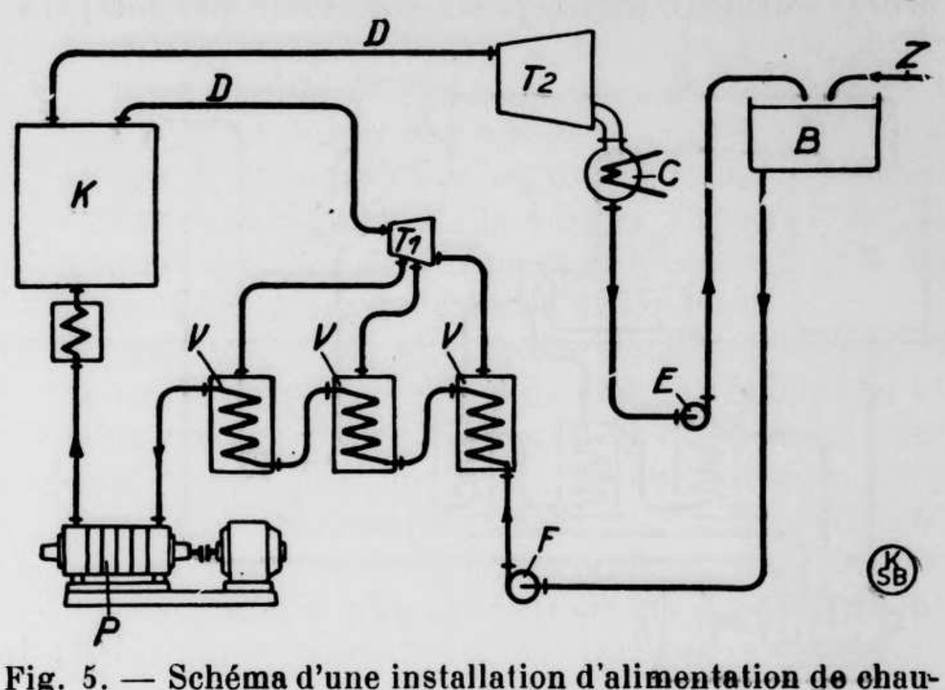


Fig. 5. — Schéma d'une installation d'alimentation de chaudières dans laquelle une pompe spéciale d'alimentation du réchauffeur est montée avant la pompe d'alimentation principale : B, réservoir d'eau d'alimentation; C, condenseur; D, tuyauterie de vapeur; E, pompe de condensation; F, pompe du réchauffeur; K, chaudière; P, pompe d'alimentation; T_1, turbine auxiliaire; T_2, turbine principale; V, réchauffeurs; Z, tuyauterie pour l'appoint d'eau d'alimentation.

subit chacun d'eux et suivant les formes, les dilatations, n'étant pas les mêmes pour tous les éléments, ce dont il faut tenir compte dans la construction de la

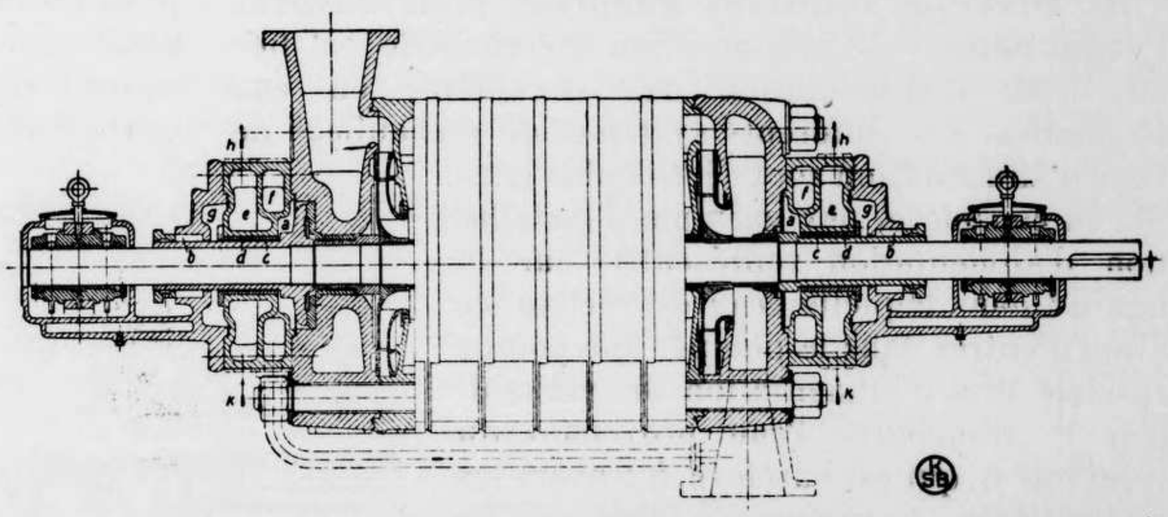


Fig. 6. — Vue schématique d'une pompe d'alimentation à eau chaude pour très haute pression, avec presse-étoupe refroidi : a, avant-chambre; b, presse-étoupe; c, voie d'étranglement; d, manchon de la boîte d'étranglement; e, chambre de refroidissement; f, chambre d'isolement; g, chambre de détente; h, sortie d'eau de refroidissement; k, entrée d'eau de refroidissement.

pompe et surtout dans celle du rotor et des parties fixes qui l'environnent. Si on admet un trop grand jeu pour le rotor, le rendement et la puissance de la pompe diminuent rapidement.

Le problème le plus délicat dans la construction des pompes centrifuges à eau chaude est celui de l'étanchéité des presse-étoupe de l'arbre. Il y a dix ans, on refroidissait déjà, pour les températures d'eau supérieures à 100°C et allant jusqu'à 130°C environ, la chambre contenant la garniture du presse-étoupe (fig. 4).

Le fonctionnement de ces presse-étoupe a été satisfaisant; mais la garniture devant être fortement serrée contre l'arbre, ce dernier ou, éventuellement, le protège-arbre, s'usaient très rapidement. Pour des tempéra-

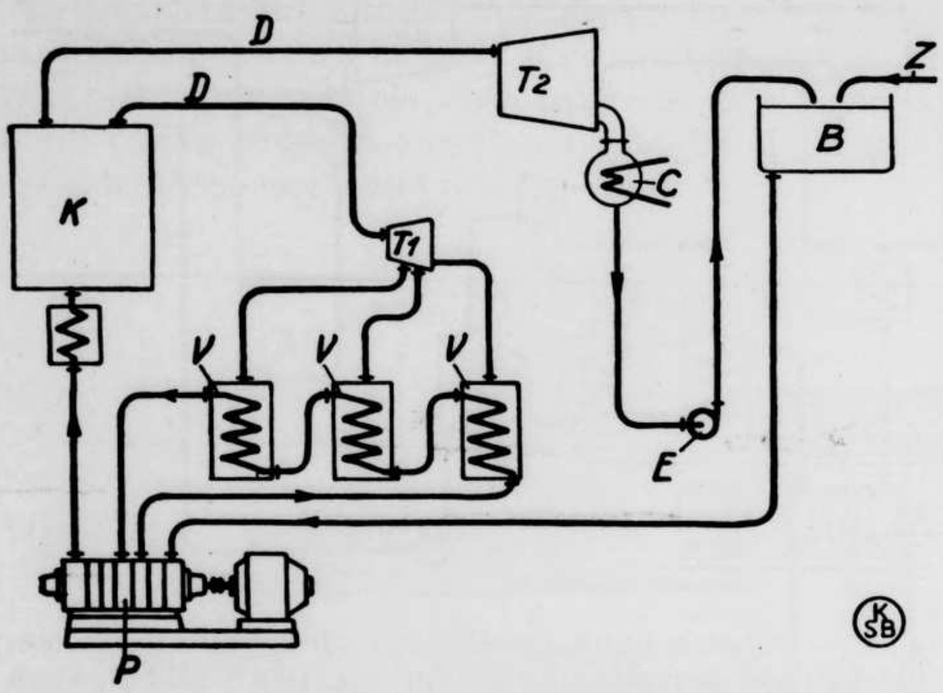


Fig. 7. — Schéma d'une installation d'alimentation de chaudières avec pompe combinée d'alimentation de la chaudière et du réchauffeur : B, réservoir d'eau d'alimentation ; C, condenseur ; D, tuyauterie de vapeur; E, pompe de condensation ; K, chaudières : P, pompe d'alimentation ; T_1, turbine de service auxiliaire ; T_2, turbine principale ; V, réchauffeur ; Z, appoint d'eau d'alimentation.

tures d'eau très élevées ces presse-étoupe n'ont donc pu être adoptés dans la pratique.

III. Diverses solutions adoptées pour assurer l'étanchéité. — Cette question d'étanchéité est liée au mode d'alimentation des chaudières en eau réchauffée. Les différents systèmes de réchauffage de l'eau d'alimentation sont décrits plus loin.

Si l'on considère, par exemple, l'installation d'alimentation représentée sur la figure 5 dans laquelle l'eau est réchauffée avant d'entrer dans la pompe, une pompe spéciale dite d'alimentation du réchauffeur F, transporte l'eau provenant du réservoir B, qui est surélevé, à travers les réchauffeurs à vapeur V disposés en série, dans la pompe d'alimentation P. L'eau d'alimentation entre dans la pompe à une température élevée et sous la pression correspondante. Un presse-étoupe ordinaire n'aurait pas, sur les pompes de ce genre, l'étanchéité nécessaire. L'eau de fuite s'évaporerait partiellement, par suite de la baisse de pression, aussitôt parvenue en contact avec l'air, ce qui, en dehors des pertes de chaleur, provoquerait des dégâts très onéreux, ainsi qu'une détérioration rapide de l'arbre et de la garniture du presse-étoupe.

La solution adoptée pour les pompes centrifuges à eau chaude est celle du presse-étoupe représenté sur la figure 6. L'eau chaude contenue dans la chambre a doit passer, avant d'arriver au presse-étoupe b, par la voie d'étranglement c. Le manchon d de la boîte d'étranglement est très long et le jeu radial de l'arbre est très restreint de façon que l'eau ne puisse passer qu'avec une vitesse très réduite. Cette boîte d'étranglement est, dans l'espace e, baignée par l'eau qui sert à refroidir ainsi l'eau de fuite. Le refroidissement exagéré de l'eau chaude contenue dans la chambre a est évité par la chambre f qui contient de l'air ou un autre isolant thermique entre a et e. Une chute de température est ainsi réalisée entre la chambre a et le presse-étoupe b, tout le long de la voie d'étranglement. Les espaces g sont reliés par une conduite au réservoir d'eau d'alimentation se trouvant en amont de la pompe dite du réchauffeur. Les conditions dans lesquelles se trouve le presse-étoupe sont identiques à celles que l'on a dans une pompe à basse pression et à eau froide. La garniture du presse-étoupe peut être la garniture ordinaire de coton. Un très grand nombre de pompes d'alimentation ainsi équipées sont en service; il en existe en particulier à l'usine génératrice de Klingenberg, près de Berlin; la pompe en service à Mannheim, déjà mentionnée, est de même construction.

Une simplification qui peut être apportée aux installations d'alimentation décrites ci-dessus est représentée sur la figure 7. La pompe du réchauffeur et la pompe d'alimentation sont réunies en une même machine (fig. 8), les premiers étages de cet ensemble faisant fonction d'une pompe de réchauffeur, les derniers, celle d'une pompe d'alimentation.

Une telle installation est plus simple et, tant au point de vue des frais de premier établissement qu'au point de vue de l'entretien, moins coûteuse que deux pompes séparées. Le côté d'aspiration de cette pompe peut être muni d'un presse-étoupe ordinaire, l'eau

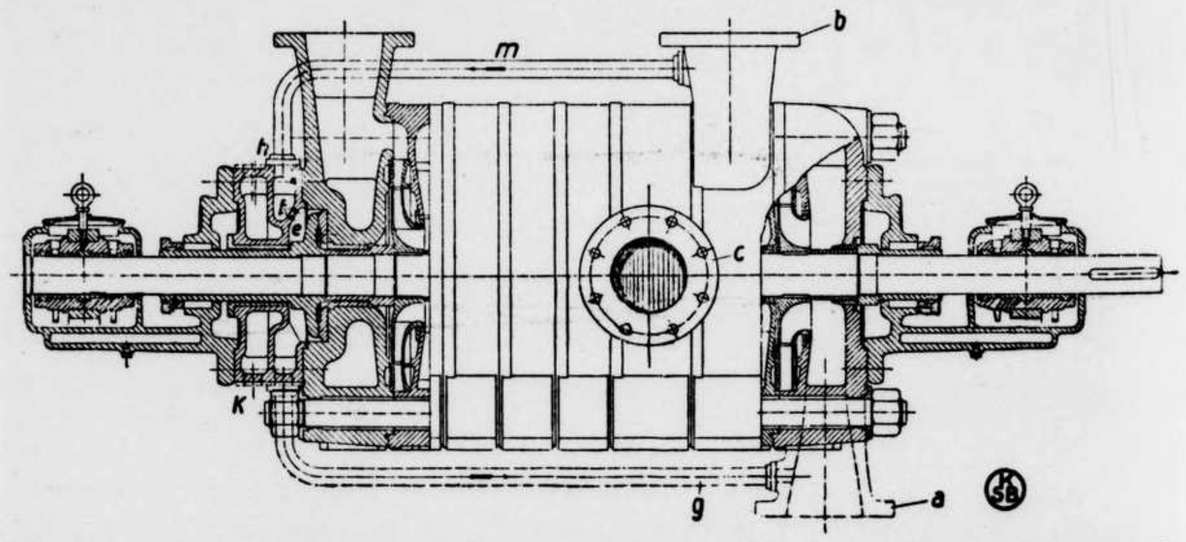


Fig. 8. — Vue schématique d'une pompe combinée d'alimentation de la chaudière et du réchauffeur : a, orifice d'aspiration; b, orifice de soutirage; c, orifice de retour; e, chambre de décharge; f, orifices d'injection ; g, retour d'eau de décharge ; h, sortie d'eau froide; k, entrée d'eau froide; m, arrivée d'eau de mélange.

d'alimentation qui entre sous une faible hauteur d'amenée par la bride a ayant une température inférieure à 100°C. La pression de l'eau s'élève, à l'aide d'un ou de plusieurs étages disposés entre l'entrée et la bride b, de façon qu'elle soit, à cet endroit, de quelques kilogrammes par centimètre carré supérieure à la pression d'évaporation qui correspond à la plus

haute température de réchauffage. L'eau parcourt, à partir de b, les réchauffeurs disposés en série et retourne ensuite à la pompe, à une température très élevée, par la bride c. Sa pression est, par suite des résistances des réchauffeurs, inférieure à celle avec laquelle elle est sortie par la bride b, mais toujours encore supérieure à la pression d'évaporation. Cette disposition permet la suppression d'un presse-étoupe grâce à la rentrée de l'eau par la bride c. Une attention particulière doit être réservée aux chambres disposées devant le presse-étoupe du côté de la haute pression. L'effort axial des pompes centrifuges est utilement compensé par l'emploi des bagues hydrauliques d'équilibrage, bien connues. Il devient, alors, nécessaire d'abaisser la température de l'eau de fuite derrière les bagues pour pouvoir réintroduire cette eau dans la chambre d'aspiration de la pompe.

A cet effet, on prélève, à un certain étage de la pompe du réchauffeur, l'eau ayant une pression plus élevée que celle existant dans la chambre e. Dans le cas considéré, c'est un tube m relié à la bride b de la pompe, qui amène cette eau, d'une température modérée, dans une chambre disposée à côté de l'espace e entourant la bague d'équilibrage. L'eau jaillit, par des petits trous f percés sur la circonférence, dans la chambre e dans laquelle s'établit la même pression que dans la bride a, un tube de liaison g suffisamment large étant prévu dans ce but.

L'eau sortant par la bague d'équilibrage est refroidie par l'eau injectée. Le mélange s'écoule par le tube g dans la bride d'aspiration a ou dans le réservoir d'eau d'alimentation. Cette disposition empêche toute formation de vapeur derrière la bague d'équilibrage, formation qui, autrement, aurait lieu dans l'espace e par suite de l'abaissement de la pression de l'eau de fuite qui est chaude. L'espace e étant en liaison, par la conduite g, avec la chambre d'aspiration de la pompe, cette formation de vapeur pourrait provoquer un désamorçage de la pompe. Le refroidissement de l'eau de fuite n'entraîne aucune perte de chaleur. Le presse-étoupe du côté de la haute pression est complètement déchargé et doit être étanche à l'eau légèrement chaude.

IV. **Installation des pompes d'alimentation.** — 1. Généralités. — Les volumes d'eau des chaudières modernes à très haute pression sont, comme on sait, très petits. Il faut donc employer des dispositifs d'alimentation d'une sécurité absolue, d'autant plus que le poids de vapeur produit par mètre carré de surface de chauffe est très élevé. Une interruption survenant pendant quelques minutes seulement dans l'amenée de l'eau d'alimentation peut provoquer, éventuellement, des perturbations importantes dans le fonctionnement de l'installation. Par suite des variations brusques et élevées que subit parfois la production de vapeur, il faut que les dispositifs d'alimentation soient capables de s'adapter à ces conditions spéciales. A cet effet, les pompes centrifuges sont préférables aux pompes à piston, même s'il s'agit d'une installation de chaudières de peu d'importance.

Pour des raisons de sécurité, dans des usines génératrices thermiques moyennes, on fait travailler en parallèle et sous charge réduite deux ou plusieurs pompes d'alimentation pour que, dans le cas où une avarie se produirait sur une des pompes, l'autre ou les autres pompes puissent reprendre totalement ou partiellement la charge de la pompe arrêtée. Il est utile que les moteurs de ces pompes d'alimentation soient reliés à des sources d'énergie différentes.

Dans le cas où une seule pompe d'alimentation assure le service, il est recommandé de disposer l'installation des pompes de façon que, en cas d'arrêt de cette pompe, une pompe de réserve soit mise automatiquement en marche et sous sa pleine charge et en quelques minutes. On peut employer indistinctement dans ce but des pompes actionnées électriquement ou des pompes commandées par turbines à vapeur.

Les pompes convenant le mieux à cette mise en service automatique en cas de secours sont celles commandées par turbines à vapeur, la vapeur étant toujours disponible en quantité voulue.

2. Exemple d'installation de deux pompes dont une de secours mise en route automatiquement. — L'exemple suivant est celui d'une installation dans laquelle une pompe actionnée par turbine à vapeur est mise automatiquement en service dans le cas d'arrêt de la pompe à commande électrique. Un régulateur Askania agit sur le dispositif de mise en marche de la turbine et ouvre l'organe d'admission de la vapeur dans le cas d'arrêt de la pompe à commande électrique. Le même mécanisme provoque, à la reprise du service par cette dernière pompe, la mise hors service de la pompe actionnée par turbine à vapeur. L'impulsion qui commande, dans le cas d'arrêt de la pompe à commande électrique, le dispositif de démarrage de la turbine, peut être émise de deux points différents du groupe moteur électrique et pompe. Il est évident que l'on pourrait actionner ce dispositif de démarrage par le courant électrique alimentant le moteur. Tant que la fourniture du courant est régulière, un électroaimant disposé en série avec le moteur maintient le dispositif de démarrage de la turbine dans la position fermée de la vanne d'admission de vapeur. Si le courant fait défaut, l'électroaimant se trouve également hors service et provoque l'ouverture des vannes d'admission de la turbine.

Ce dispositif n'offre toutefois pas de sécurité complète dans le cas où la perturbation dans la fourniture de l'eau d'alimentation n'est pas imputable à une interruption du courant, c'est-à-dire dans le cas où la cause de cette perturbation réside dans la pompe ou dans les conduites. Un dispositif assurant le démarrage automatique et entrant en fonction dans tous les cas où le service de la pompe d'alimentation se trouve interrompu, doit donc être conçu de façon que l'impulsion agissant sur le mécanisme de démarrage soit pro-

duite non par le courant électrique, mais par la pression de refoulement de la pompe électrique,

La figure 9 reproduit le schéma d'un tel groupe de pompes consistant en deux pompes à commande électrique et en deux pompes actionnées par turbines à vapeur. Le

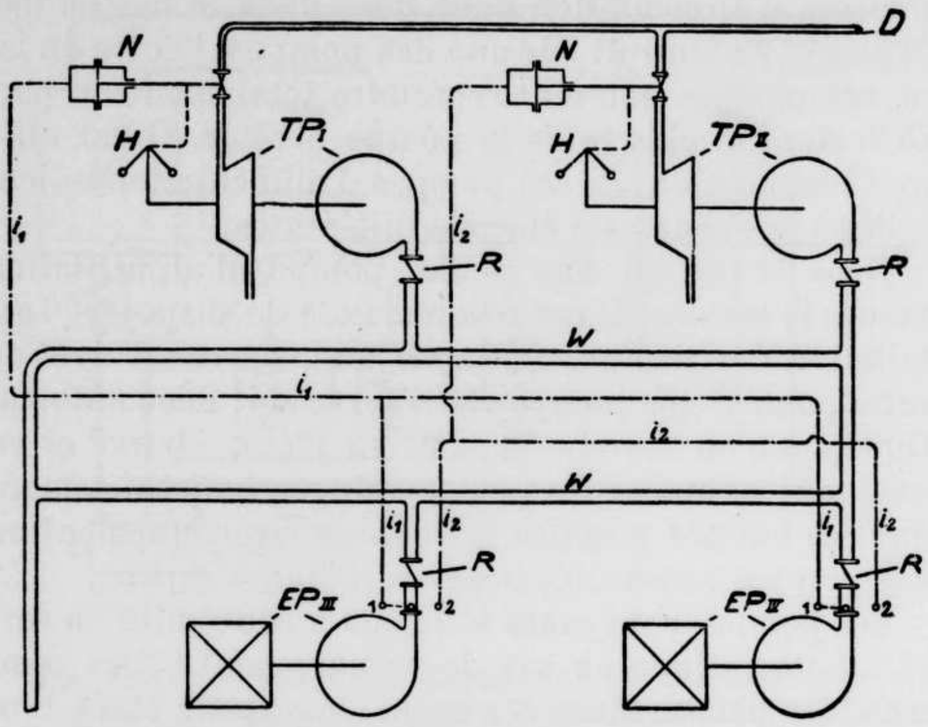


Fig. 9. — Schéma de couplage d'un groupe de pompes d'alimentation à commande électrique et à vapeur. Les turbopompes à vapeur entrent automatiquement en action en cas de manque de courant électrique : D, tuyauterie de vapeur; EP, pompes électriques; H, régulateur à force centrifuge; i_1 et i_2, tuyauteries d'impulsion; N, régulateur automatique; R, clapet de retenue; TP, turbopompes à vapeur; W, tuyauterie d'eau d'alimentation.

régulateur de pression et régulateur de mise en marche est constitué, dans ce cas, par un dispositif de réglage de l'Askania-Werke Aktien-Gesellschaft à Berlin (fig. 10).

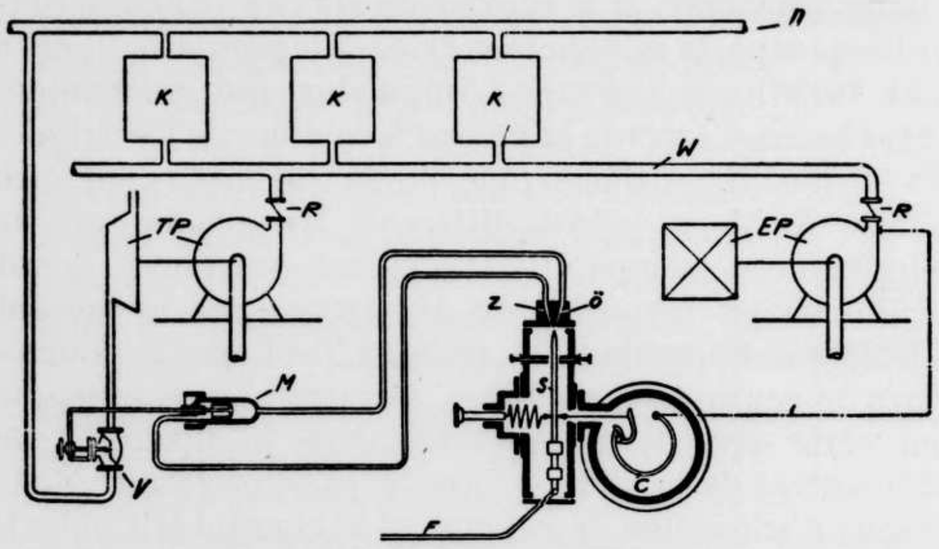


Fig. 10. — Schéma du régulateur Askania pour mise en service automatique des pompes à vapeur en cas d'arrêt des pompes à commande électrique : C, tube de Bourdon; D, tuyauterie de vapeur; EP, pompe électrique; F, arrivée d'huile sous pression; M, cylindre servomoteur; K, chaudières; O, ouverture; R, clapet de retenue; S, tuyère oscillante; TP, turbopompe à vapeur; V, vanne d'admission de la turbine; W, tuyauterie d'eau d'alimentation; Z, orifice de fermeture.

La tuyère S, faisant partie de ce dispositif et parcourue par de l'huile sous pression, est influencée par un tube de Bourdon C sur lequel agit la pression de refoulement de la pompe électrique. La tuyère envoie l'huile sous pression vers l'une ou vers l'autre des deux face du piston du servomoteur M correspondant à une fermeture ou une ouverture de la vanne d'admission V de la turbine. Tant que la pompe d'alimentation commandée électriquement fonctionne régulièrement, la tuyère est poussée par le tube de Bourdon C vers l'orifice de fermeture Z, de sorte que la vanne d'admission de la turbine V reste fermée. Si la pression de refoulement de la pompe électrique tombe, pour une raison quelconque, au-dessous d'une valeur pour laquelle le régulateur a été ajusté, la tuyère est poussée vers l'orifice O, et la vanne d'admission de la turbine est ouverte par le servomoteur. La turbine à vapeur étant ainsi mise en marche automatiquement, son régulateur de vitesse à force centrifuge reprend son réglage pendant qu'elle est en service. Aussitôt que, après la remise en service de la pompe à commande électrique, la pression minimum de l'eau d'alimentation est atteinte, le régulateur de pression provoque de nouveau l'arrêt de la pompe à vapeur. La figure 11 représente un réglage

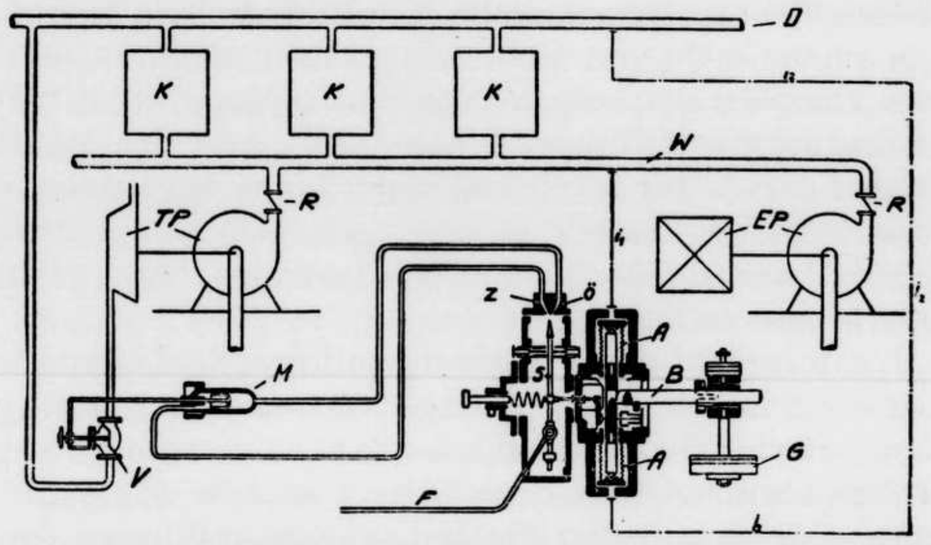


Fig. 11. — Schéma du régulateur de différence de pression d'alimentation Askania combiné avec une mise en service automatique des pompes à vapeur en cas d'arrêt des pompes à commande électrique : A, membranes à tube plissé; B, fléau de balance; D, tuyauterie de vapeur; EP, pompe à commande électrique; F, arrivée d'huile sous pression; G, contrepoids; i_1, tuyauterie d'impulsion (pression d'eau); i_2 tuyauterie d'impulsion (pression de vapeur); K, chaudières; M, cylindre servomoteur; O, ouverture; R, clapet de retenue; S, tuyère oscillante; TP, turbopompe à vapeur; V, vanne d'admission à la turbine; W, tuyauterie d'alimentation; Z, orifice de fermeture.

combiné employant la différence de pressions. L'impulsion provoquant la mise en marche de la pompe à vapeur est due, dans ce cas, à la différence de pression existant entre la pression dans la conduite principale de vapeur et la pression dans le collecteur d'eau d'alimentation. Cette disposition possède l'avantage que le même régulateur peut être employé en même temps pour le réglage de la pompe à vapeur. Dans ce cas, les deux membranes à tube plissé agissent en opposition sur la même tuyère oscillante et sont équilibrées en outre par le contrepoids G, à l'aide du levier B; elles supportent l'une la pression de vapeur et l'autre la pression de l'eau d'alimentation. La position du contrepoids G détermine la différence admise entre ces deux pressions. Si la différence des pressions tombe

au-dessous d'une valeur déterminée, la pompe à vapeur est mise en service pour assurer continuellement la différence de pression voulue entre la pression de l'eau d'alimentation et celle de la vapeur.

V. **Caractéristiques des pompes d'alimentation.** — La puissance de chacune des pompes d'alimentation, dans une installation de trois pompes, par exemple, qui alimentent une chaufferie, doit être prévue de façon à être un peu supérieure à la puissance maximum demandée pour que l'alimentation soit assurée dans toutes les conditions. Pendant la marche normale régulière, ces pompes ne travaillent guère avec leur puissance maximum, et, dans certains cas, elles fonctionnent même à très faible puissance. Il faut donc que la caractéristique de la hauteur manométrique du refoulement en fonction du débit soit stable, c'est-à-dire qu'elle remonte continuellement, sans présenter de maximum, sinon on pourrait craindre des oscillations et des à-coups aux faibles charges.

Quand les perturbations dues à ces oscillations se produisaient avec les pompes centrifuges à caractéristique instable, employées jusqu'ici, on disposait une prise sur la conduite d'alimentation permettant de reconduire une partie de l'eau d'alimentation dans la conduite d'aspiration ou dans le réservoir d'eau d'alimentation. Dans beaucoup de cas, on a installé également des clapets de retour s'ouvrant automatiquement pendant les périodes de faibles charges. Une partie de l'eau fournie par la pompe était ainsi reconduite dans le réservoir d'aspiration, de sorte que les pompes ne travaillaient jamais dans la zone de stabilité de leur courbe de pression. Le retour de l'eau d'alimentation s'effectue naturellement au détriment de la puissance utile et donne lieu, dans certains cas, à une perte d'énergie de 30 à 40 pour 100. On évite ces inconvénients avec des pompes dont la courbe de pression est stable.

La figure 12 reproduit les caractéristiques tracées au cours des essais d'une pompe d'alimentation à haute

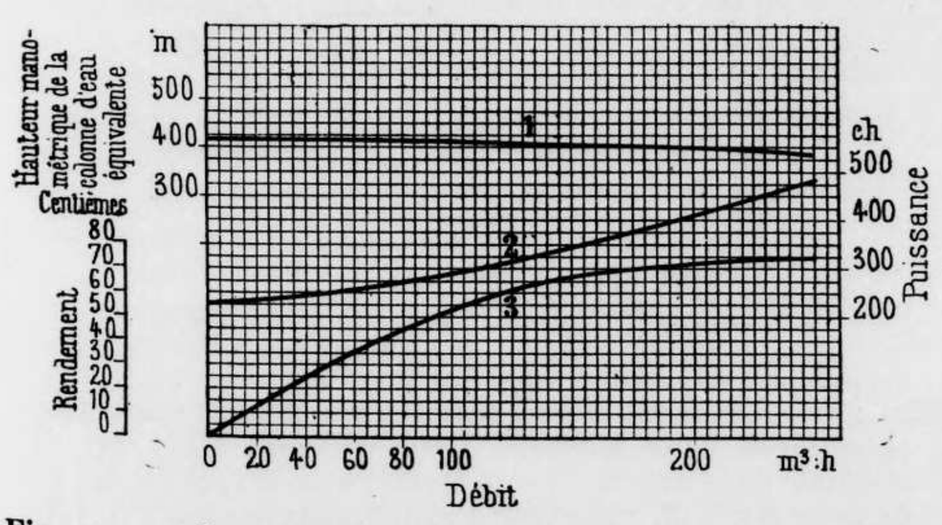


Fig. 12. — Caractéristiques relevées à vitesse constante, en fonction du débit, sur une pompe d'alimentation à sept étages avec courbe stable : 1, hauteur de refoulement ; 2, puissance absorbée ; 3, rendement.

pression à sept étages, destinée à une usine génératrice. On s'est efforcé d'obtenir et on a obtenu une courbe stable et se rapprochant le plus possible de l'horizontale. Une faible augmentation de la pression en cas de charges réduites ou en cas de charge nulle par rapport à la charge de régime et la conservation de la même vitesse ont été posées comme conditions indispensables au bon fonctionnement des régulateurs de niveau. Cette augmentation de la pression entre le débit maximum et le débit nul atteint 8 pour 100 seulement. La figure 13 représente les caractéristiques tracées au cours des essais effectués sur la même

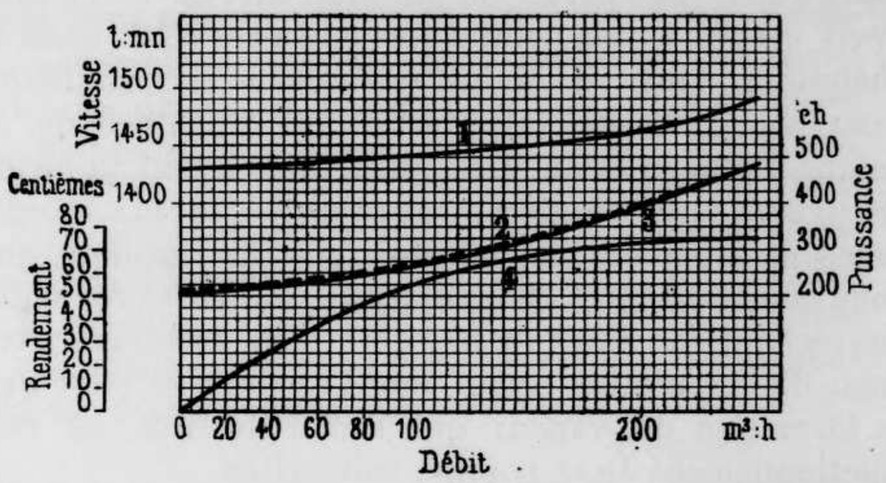


Fig. 13. — Caractéristiques, en fonction du débit, relevées à contre-pression constante sur une pompe d'alimentation à sept étages avec courbe plate et stable : 1, vitesse ; 2 et 3, puissance absorbée ; 4, rendement.

pompe travaillant sous la contre-pression constante de 38,5 kg:cm² et à une vitesse variable. La variation de la vitesse, entre le débit maximum et la charge nulle est de 4,5 pour 100 seulement.

Grâce à cette faible augmentation de la vitesse relativement aux variations du débit, il est possible d'actionner cette pompe par les moteurs triphasés ordinaires. Jusqu'ici il a été, par contre, nécessaire d'utiliser des moteurs spéciaux, d'un encombrement considérable et dont le prix était très élevé, par suite du réglage spécial de leur vitesse. La courbe en pointillé 2 tracée sur la figure 13, à côté de la courbe 3 de la puissance absorbée, indique les pertes très faibles que subit un moteur triphasé ordinaire actionnant une pompe dont la caractéristique de la hauteur manométrique de refoulement en fonction du débit présente une forme sensiblement horizontale, le moteur étant muni d'un dispositif de changement de vitesse.

Une partie du frottement mécanique du rotor de la pompe ainsi que tout le frottement de l'eau dans les aubes et, surtout, le frottement de l'eau sur les disques des roues mobiles, sont transformés en chaleur et transmis presque complètement à l'eau d'alimentation. L'échauffement ainsi produit de l'eau d'alimentation se traduit par une augmentation du rendement total de l'installation et doit, par conséquent, contribuer à l'accroissement du rendement de la pompe.

VI. **Autres applications des pompes centrifuges d'alimentation des chaudières.** — La conception des usines génératrices modernes possédant de nombreuses installations secondaires, telles que réchauffeurs d'eau d'alimentation, évaporateurs, etc., a créé, pour la pompe centrifuge, un nouveau domaine d'ap-

plications spéciales par lequel son importance comme machine à propulsion a été augmentée.

Ainsi, des quantités considérables d'eau condensée provenant des conduites à haute pression ou produites par le réchauffeur dans les cas où on réchauffe par la vapeur vive, par la vapeur de soutirage ou par la vapeur de sortie des turbines, sont souvent disponibles, et on a l'avantage de les introduire dans un des derniers étages de la pompe d'alimentation pour les reconduire ainsi, sans pertes de pression excessives et sans avoir besoin d'une pompe spéciale à cet effet, dans la chaudière. Ainsi, à l'usine génératrice de Mannheim, l'eau condensée est introduite dans un étage de la pompe d'alimentation. Des ouvertures ayant la forme de tuyères sont régulièrement réparties sur la circonférence du distributeur intermédiaire de manière que l'eau condensée très chaude, ayant 305°C et provenant du réchauffeur de vapeur, soit bien mélangée avec l'eau d'alimentation ayant 200°C environ et pour que la formation de vapeur qui serait nuisible au bon fonctionnement de la pompe, soit évitée.

Une soupape de retenue, qui se ferme dès que la pompe est mise hors service, est installée entre le séparateur de l'eau condensée et la tubulure d'entrée de la pompe, à proximité immédiate de celle-ci. Une telle soupape est indispensable, car, dans le cas d'un arrêt brusque accidentel de la pompe, la pression élevée de l'eau de condensation, presque aussi importante que la pression de la chaudière, pourrait parvenir, à travers la pompe arrêtée, dans l'installation des économiseurs prévue pour une pression beaucoup moins élevée, et donner lieu à des dégâts considérables. La figure 14 montre le raccordement de cette soupape à la pompe. Lorsque celle-ci est en service, la pression du dernier étage agit sur un piston et ouvre la soupape de retenue. Dès que la pompe se trouve hors service, la soupape est fermée par un contrepoids et par la haute pression de l'eau condensée. Un purgeur d'eau de condensation T, muni du dispositif de fermeture par tiroir bien connu, est disposé sur la conduite et empêche que l'eau d'alimentation ne puisse pénétrer, pendant que la pompe est en service, dans la conduite de vapeur ou dans le réchauffeur.

En dehors des réchauffeurs par surface ou par mélange, des aubes spéciales peuvent servir au réchauffage de l'eau d'alimentation. La figure 15 représente le schéma d'une telle installation. Le réchauffage de l'eau d'alimentation a lieu dans l'étage de la pompe dont la pression correspond à la température et dans une aube prévue pour le mélange, par la vapeur soutirée à la turbine. Un régulateur de température est installé derrière cette aube à mélange pour maintenir constante la température. Une valve régulatrice R, disposée dans la conduite de vapeur soutirée, est commandée par ce régulateur.

Dans l'industrie chimique, dans les sucreries, etc., le besoin en vapeur nécessitée par la fabrication dépasse souvent le besoin de la force motrice. Tandis que la haute pression de la vapeur est avantageuse à la production de la force motrice, des pressions plus faibles sont suffisantes pour la fabrication. Il est donc

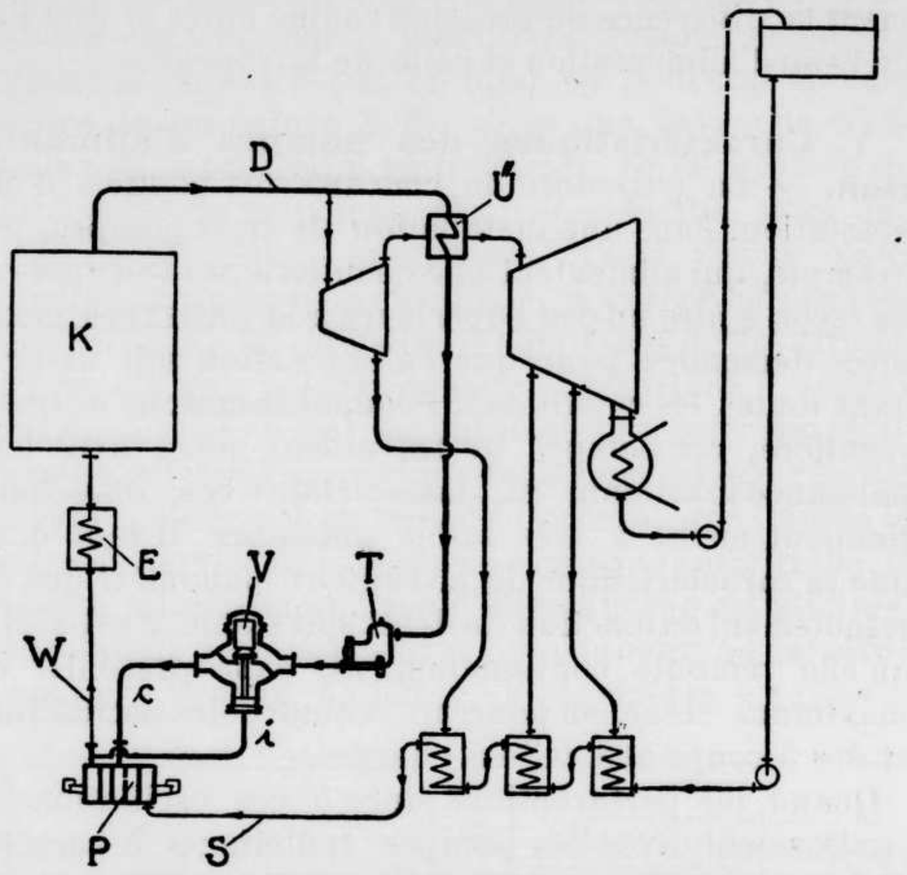


Fig. 14. — Schéma du raccordement de la soupape à la pompe ; c, tuyauterie d'eau condensée ; D, tuyauterie de vapeur ; E, réchauffeur par les gaz d'échappement ; i, tuyauterie d'impulsion ; K, chaudière ; P, pompe d'alimentation ; S, tuyauterie d'arrivée d'eau d'alimentation ; T, purgeur automatique ; U, surchauffeur intermédiaire ; V, clapet de retenue ; W, tuyauterie d'eau d'alimentation.

nécessaire d'installer des chaudières pour des pressions différentes. Une seule pompe d'alimentation cen-

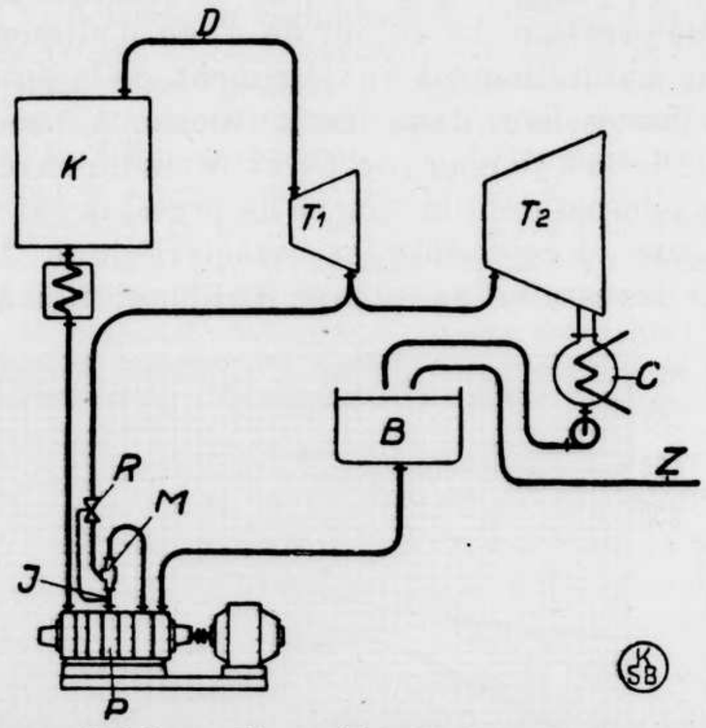


Fig. 15. — Schéma d'une installation d'alimentation de chaudières dans laquelle l'eau d'alimentation est réchauffée dans une tuyère de mélange au moyen de vapeur de soutirage : B, réservoir d'eau d'alimentation ; C, condenseur ; D, tuyauterie de vapeur ; K, chaudière ; M ; tuyère de mélange eau-vapeur ; P, pompe d'alimentation ; R, régulateur pour vapeur de réchauffage ; T_1, turbine auxiliaire ; T_2, turbine à condensation ; Z, tuyauterie pour l'appoint d'eau d'alimentation ; J, régulateur de température.

trifuge peut être avantageusement employée pour l'alimentation des chaudières à pressions différentes, sans

qu'il en résulte aucune perte d'énergie. La figure 16 représente un schéma de principe d'une installation dans laquelle deux chaudières à 10 kg : cm², deux

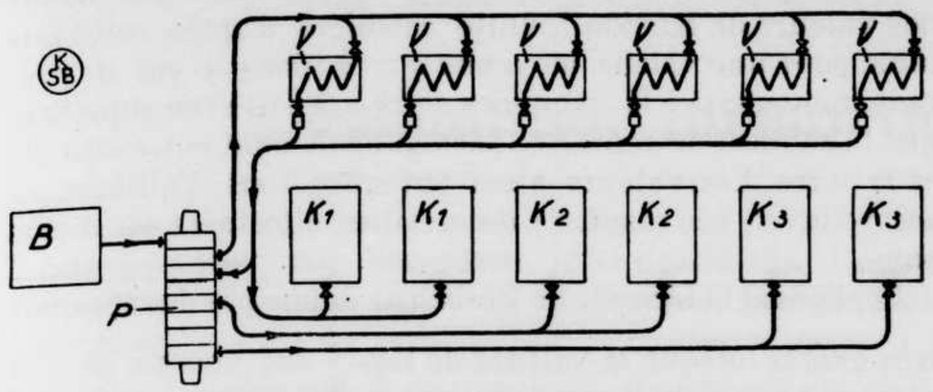


Fig. 16. — Schéma d'une installation d'alimentation avec pompe d'alimentation à haute pression à soutirage pour des chaudières de pressions différentes et économiseurs à basse pression.

chaudières à 15 kg : cm² et deux chaudières à 32 kg : cm² sont alimentées par une seule pompe. L'eau d'alimentation ayant une pression de 12 kg : cm² et sortant du premier étage de la pompe est refoulée à travers les économiseurs et une quantité d'eau correspondante arrive aux chaudières à basse pression à 10 kg : cm², tandis que ce qui reste de cette eau rentre dans la pompe à la hauteur de la première roue du deuxième étage. Une partie de l'eau est ensuite amenée aux chaudières à 15 kg : cm² après avoir atteint la pression de 17 kg : cm², tandis que le reste entre dans le troisième étage de la pompe où il est porté à la pression de 34 kg : cm² pour servir comme eau d'alimentation aux chaudières à 32 kg : cm². La construction de la pompe doit tenir compte de ce que les roues mobiles du premier étage doivent être calculées pour la quantité d'eau maximum, nécessaire à toutes les six chaudières. Les roues mobiles du deuxième étage ont à fournir la quantité d'eau d'alimentation maximum nécessaire aux chaudières à 15 et 32 kg : cm², tandis que le dernier étage doit être prévu pour le débit maximum des chaudières à 32 kg : cm². Les diamètres des roues mobiles sont à calculer de façon qu'elles fournissent la pression correspondante et qu'elles assurent le rendement maximum de l'ensemble.

G. Weyland,
directeur de la Maison Klein, Schanzlin et Becker.

Revues, analyses et informations

Courants de retour (dans le sol et les canalisations) provenant d'installations à courant alternatif (1)

1. Généralités. — Le développement pris en ces dernières années par la traction électrique en courant alternatif et par les grands réseaux de transmission d'énergie à des tensions croissantes, a posé des problèmes nouveaux dans l'étude des courants de retour. A cet égard, la question de la mise à la terre du point neutre dans les réseaux à courant triphasé présente un intérêt particulier, ces courants pouvant atteindre des valeurs importantes dans le cas de court-circuit entre une phase et la terre.

Dans l'étude faisant l'objet du présent article, l'auteur considère spécialement le cas d'une ligne aérienne à courant de grande intensité comme ligne d'amenée du courant, le sol servant de conducteur de retour, c'est à-dire le cas d'une ligne de traction électrique. Les courants de retour dans le sol ou dans les conducteurs voisins de lignes électriques peuvent être dus soit à des dérivations, soit à des effets d'induction électromagnétique ou électrostatique.

1° *Cas des dérivations.* — Il est facile, en courant continu, connaissant soit la résistance totale du sol dans le cas où tout le courant passe dans le sol, soit cette résistance et celle des canalisations, de déterminer la chute de tension linéique dans le premier cas, et l'intensité du courant qui suit la canalisation dans le second cas. En désignant par R_e la résistance totale du sol en ohms et par l, en kilomètres, la distance entre les deux points de prise de terre, la chute de tension linéique est $e = \frac{R_e}{l}$, en volts par ampère et par kilomètre. Si, d'autre part, e_R est la chute de tension entre les points d'entrée et de sortie du courant dans la canalisation dont la distance est l et la résistance linéique de cette dernière, r_R, l'intensité du courant qui y circule est $i_R = \frac{e_R}{l r_R}$. Des relations analogues peuvent être établies pour le courant alternatif à la condition de remplacer les résistances par les impédances, il faut encore tenir compte de l'effet pelliculaire qui est d'autant plus important que la section du conducteur est plus grande. Enfin, si d'autres conducteurs sont voisins de celui considéré, il se produit des effets d'induction mutuelle qui doivent également entrer en ligne de compte. Ainsi dans le cas d'une section de voie ferrée, son impédance dépend non seulement de la conductibilité des rails, de leur section et de la résistance des éclisses électriques, mais aussi de leur perméabilité, de la fréquence du courant, du profil des rails, de l'écartement des voies, du nombre de rails parallèles, de la hauteur du fil de prise de courant au-dessus des rails, de son mode de suspension, etc. Les mesures effectuées ont montré que pour un courant d'une fréquence de 16, 2/3 p : s, la valeur moyenne du rapport de la résistance en courant alternatif à celle en courant continu d'une section de voie est d'environ 5. Il s'ensuit que le courant de retour qui passe des rails à la terre est, toutes autres conditions étant les mêmes, beaucoup plus élevé en courant alternatif qu'en courant continu.

Si une conduite est parallèle à une voie ferrée où passe du courant alternatif, on peut, au moyen des lois sur les courants dérivés, établir les valeurs de la tension et de l'intensité du courant dans la canalisation. La conduite produit sur le courant de retour un effet de succion qui est d'autant

(1) Friedrich Besig. *Journal télégraphique*, septembre, octobre, novembre, décembre 1929, t. LIII, p. 193-196, 213-216, 233-236, 257-251, et janvier, février et mars 1930, t. LIV, p. 4-7, 26-30 et 46-50, 12000 mots, 20 figures.

plus marqué que la chute de tension dans le sol, le long de la conduite, est plus forte et la résistance d'isolement de la conduite, plus faible. D'ailleurs, on peut pour cette résistance d'isolement prendre pratiquement la même valeur en courant alternatif qu'en courant continu. D'autre part, la résistance elle-même de la conduite est plus élevée en courant alternatif qu'en courant continu ; mais le rapport des deux résistances est notablement plus petit que dans le cas des rails.

2° *Induction électromagnétique.* — La force électromotrice induite dans une ligne parallèle à la ligne inductrice, ramenée à l'unité du courant de la ligne et à l'unité de longueur s'exprime par $e_{M_0} = \omega M_0$ en volts par ampère et par kilomètre, M_0 étant exprimé en henrys par kilomètre. Il faut remarquer que, pratiquement, il y a au moins deux conducteurs inducteurs : un d'aller et l'autre de retour. Dans ces conditions, l'effet d'induction est d'autant plus marqué que la surface de la boucle inductrice est plus grande ; il en est de même pour la surface de la boucle induite. Dans certaines conditions, la ligne inductrice et la ligne induite peuvent se trouver connectées à la fin par couplage électromagnétique et par dérivation. Pour obtenir le courant de retour total, il faut faire la somme géométrique du courant induit déphasé par rapport au courant d'aller de 90° en arrière ou en avant suivant qu'on se trouve à proximité ou éloigné de la ligne inductrice, et du courant de dérivation qui est déphasé de 180° par rapport au courant d'aller.

3° *Induction électrostatique.* — Tout conducteur constitue soit avec un conducteur voisin isolé, soit avec la terre un condensateur. Dans le cas du alternatif courant il apparaît dans ce condensateur un courant alternatif de charge dont l'intensité efficace est proportionnelle à la tension efficace E du réseau par rapport à la terre, à sa capacité C et à la fréquence. En désignant par C_0 la capacité linéique du réseau, le courant de charge rapporté à l'unité de tension et à l'unité de longueur de tension de la ligne est $i_{c0} = \omega C_0$ en ampères par volt et par kilomètre.

2. Calcul des courants alternatifs et des tensions alternatives induits dans les conducteurs constitués par la terre et par les conduites. — Si on considère d'abord le courant de charge, un calcul simple montre qu'il ne peut prendre de valeur importante, en ce qui concerne les conduites métalliques, que pour des réseaux très étendus et à très haute tension. Dans le cas d'une ligne de traction monophasée à la fréquence de 16,2/3 p : s et à 15 000 v, ce courant n'atteint guère que 1 ampère pour une longueur de la ligne de 100 km. Il faut noter toutefois que ce courant peut déjà amener des perturbations sensibles sur les lignes à courant faible.

En ce qui concerne les effets d'induction, les tensions sont les mêmes dans une conduite métallique que dans une ligne à courant faible, les intensités du courant induit variant en raison des différences de la conductance et de l'isolement. Ce problème se ramène à celui de la détermination du coefficient d'induction mutuelle entre la ligne à courant faible ou la conduite et la boucle formée par le fil de traction et les rails ou le fil de traction et la terre, suivant qu'on considère l'effet de la partie de courant qui revient par les rails ou de celle qui revient par la terre. Breisig a donné dans ce dernier cas la formule

$$M = 2l\left(\log_e \frac{l}{a} - q\right) 10^{-4}, \text{ en henrys,}$$

où l est la longueur, en kilomètres, de parallélisme des conducteurs induit et inducteur, a, leur distance géométrique moyenne, en mètres, et q, un coefficient variant entre 1 et 3 et qui dépend des conditions géologiques. L'auteur donne des valeurs de tension induite calculées d'après cette formule pour une valeur moyenne $q = 2$, dans le cas de courant monophasé à la fréquence de 16,2/3 p : s et en supposant que le courant de retour se partage également entre les rails et la terre. Les valeurs ainsi obtenues sont d'ailleurs en accord avec les résultats de mesures effectuées en divers pays.

Cependant la formule de Breisig ne donne pas des résultats très exacts lorsque la valeurs de $\log_e \frac{l}{a}$ est voisine de q et conduit à des valeurs trop élevées pour les grandes longueurs. O. Mayr et R. Rüdenberg ont étudié à nouveau le problème en tenant compte de ce qu'en courant alternatif le courant de retour se concentre au voisinage du fil de traction.

La solution mathématique rigoureuse conduit, soit à l'emploi des fonctions de Bessel, soit à des fonctions de l'intégrale logarithmique et des transcendantes correspondantes ; mais ils ont établi, pour les conditions rencontrées en pratique, des formules approchées.

3. Application des résultats a un cas pratique et vérification expérimentale. — L'application pratique qui est traitée dans l'article se rapporte au réseau de canalisations des usines à gaz de Hirschberg et de Warmbrum qui sont, sur certaines parties de leur parcours, parallèles à une section électrifiée en courant monophasé à 15 000 v, 16,2/3 p : s, des chemins de fer de l'Etat allemand ou à une ligne de tramways à courant continu. L'auteur indique comment a été déterminée la valeur du courant de traction en fonction des graphiques de marche et des données du trafic, puis calculées la chute de tension dans les rails et la tension induite dans la canalisation.

Enfin il donne des renseignements sur les appareils de mesure employés, avant d'exposer les résultats de ces mesures. Les conclusions auxquelles elles ont conduit sont, en grandes lignes, les suivantes : les tensions et courants continus mesurés sont de peu d'importance et ne constituent aucun danger, même au point de vue électrolytique. Par contre, celles en courant alternatif sont beaucoup plus élevées.

Pour éviter les effets de ces courants d'induction et de dérivation, il y a lieu de maintenir un écartement aussi grand que possible entre les conduites et la voie ferrée et d'éviter les longs parcours parallèles ; il serait bon aussi d'isoler les tuyaux de la canalisation les uns des autres au moyen de manchons isolants. Relativement aux lignes de traction à courant alternatif, il faut assurer une conductibilité aussi élevée que possible des joints de raccordement des rails. Dans certains cas ce moyen reste insuffisant, ce qui a conduit à employer des transformateurs à coefficient d'induction variable pour augmenter l'induction mutuelle entre les fils de traction et les rails afin d'affaiblir l'effet inducteur résultant des lignes d'aller et retour. Un autre procédé consiste enfin à utiliser pour le retour du courant un conducteur spécial et non les rails de roulement, ce conducteur étant à une certaine distance des rails et isolé par rapport à eux. — J. S.

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Arrêt de la Cour de Cassation fixant la juridiction compétente en matière d'indemnités pour implantation de pylônes dans les propriétés privées.

Cet arrêt, rendu par la Chambre des Requêtes de la Cour de Cassation dans son audience du 4 novembre 1930, confirme un arrêt de la Cour d'Appel de Grenoble du 19 juin 1928. Le « Recueil hebdomadaire de Jurisprudence Dalloz » en donne le résumé suivant : « Le concessionnaire d'une distribution d'énergie électrique, qui établit dans des propriétés privées des pylônes scellés destinés à supporter des fils aériens avant l'approbation par le préfet du projet de détail du tracé, commet un atteinte au droit de propriété relevant, non du juge de paix, mais des tribunaux de droit commun ».

Voici d'ailleurs le texte de cet arrêt :

La Cour,

Sur le moyen unique pris de la violation de l'article 12 de la loi du 15 juin 1906 et des règles de la compétence ;

Attendu que la Société des Forces motrices du Vercors, concessionnaire de la distribution d'énergie électrique pour le département de l'Isère, ayant demandé à établir une ligne à haute tension qui devait traverser la commune de Parizet et ayant commencé les travaux de construction de cette ligne avant qu'aient été accomplies les formalités prescrites par la loi du 15 juin 1906, fut assignée en référé devant le président du Tribunal civil de Grenoble par le maire de Parizet et sept propriétaires de cette commune, pour faire nommer un expert aux fins de décrire les travaux exécutés et de constater les dégâts causés par l'établissement de la ligne à leurs propriétés; que nonobstant l'exception d'incompétence soulevée par la société, cette demande a été accueille et que la Cour d'Appel a confirmé l'ordonnance rendue en référé;

Attendu que le pourvoi fait grief à l'arrêt attaqué d'avoir, en statuant ainsi, violé l'article 12 de la loi du 15 juin 1906 qui attribue compétence au juge de paix pour connaître, en premier ressort, des demandes en indemnité à raison des servitudes qu'entraîne l'établissement des lignes d'énergie électrique;

Mais attendu que l'arrêt déclare que la Société des Forces motrices de Vercors avait établi dans les propriétés des demandeurs des pylônes scellés destinés à supporter des fils aériens, sans attendre l'arrêté du préfet qui n'a approuvé que le 5 mai 1928 le projet de détail du tracé et sans avoir obtenu l'autorisation des intéressés; qu'en agissant ainsi cette société a commis une atteinte aux droits de la propriété relevant des tribunaux judiciaires de droit commun;

Attendu que par ces constatations et appréciations, la Cour d'Appel a justifié sa décision sans violer les règles de la compétence ni l'article de loi susvisé; que par suite le moyen n'est pas fondé;

Par ces motifs, rejette.

Sur les traitements des fonctionnaires du Bureau international du Travail.

Le « Journal officiel » du 22 novembre 1930 publie, page 3535 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

9848. — M. Joseph Denais demande à M. le ministre des Affaires étrangères : 1° combien, parmi les 130 fonctionnaires du Bureau international du Travail, qui reçoivent un traitement égal ou supérieur à 150 000 fr français, se trouvent de citoyens français; 2° quels ils sont (état nominatif, fonctions et appointements); 3° par qui ils ont été recrutés et quelle fut la part du Gouvernement dans leur désignation. (Question du 4 novembre 1930.)

Réponse. — Le nombre des fonctionnaires des différents organes de la Société des Nations (secrétariat, bureau international du travail, cour permanente de justice internationale) dont le traitement égale ou dépasse 30 000 fr suisses n'atteint pas quatre-vingts. Au Bureau international du Travail, huit Français reçoivent un traitement égal ou supérieur à 30 000 fr suisses, ce sont :

		Francs suisses
MM.	Albert Thomas, directeur.....	90 000
	F Maurette, chef de division.....	47 000
	Georges Fleury, chef de section....	33 000
	C. Pône, chef de section.....	33 000
	Edgar Milhaud, chef de section.....	33 000
	Viple, chef du cabinet du directeur.	32 000
	A. Tixier, chef de section.....	30 000
	G. Fauquet, chef de section.....	30 000

Le barème des traitements est fixé par l'Assemblée de la Société des Nations. Le Gouvernement français n'est pas intervenu dans la désignation de ces fonctionnaires, car, aux termes de l'article 395 du Traité de Versailles :

« Le personnel du Bureau international du Travail sera choisi par le directeur. Le choix devra porter, dans toute la mesure compatible avec le souci d'obtenir le meilleur rendement, sur des personnes de différentes nationalités. Un certain nombre de ces personnes devront être des femmes. »

Sur la proportion des frais médicaux et pharmaceutiques devant être remboursée aux assujettis aux assurances sociales.

Le « Journal officiel » du 15 novembre 1930 publie, page 3441 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

10 249. — M. Jules Uhry demande à M. le ministre du Travail : 1° si l'article 4, paragraphe 5, de la loi du 5 avril 1928, modifiée par celle du 30 avril 1930, sur les assurances sociales, prévoit qu'un malade a droit au remboursement de 80 pour 100 des frais médicaux et de 85 pour 100 des frais pharmaceutiques ; 2° comment concilier ce texte, pour un salarié gagnant 30 fr par jour, avec la restriction du deuxième alinéa du paragraphe 5 de ce même article 4 qui stipule que le total des frais médicaux et pharmaceutiques ne pourra excéder, par journée de maladie, 50 pour 100 du salaire moyen; ajoute que, d'après cette clause, il ne serait pas possible de rembourser à ce malade plus de 15 fr, quel que soit le montant des frais médicaux et pharmaceutiques ; 3° si une caisse primaire, estimant qu'une consultation donnée à temps empêche souvent le développement d'une maladie, peut prendre entièrement à sa charge, pour la première visite ou consultation, 80 pour 100 des frais médicaux et 85 pour 100 des frais pharmaceutiques sans tenir

compte de la restriction du deuxième alinéa du paragraphe 5 de l'article 4 précité. (Question du 4 novembre 1930.)

Réponse. — 1° et 2° Les dispositions combinées des deux alinéas de l'article 4, paragraphe 5, de la loi du 30 avril 1930 signifient : d'une part, que l'assuré a droit, en cas de maladie, au remboursement des frais médicaux et pharmaceutiques dans les conditions du tarif de responsabilité établi par sa caisse et déduction faite de la participation légale de l'assuré (15 ou 20 pour 100 pour les frais médicaux, 15 pour 100 pour les frais pharmaceutiques) ; d'autre part, que le total des sommes à rembourser à l'assuré, à titre de frais médicaux et pharmaceutiques, pour une maladie déterminée, ne doit pas dépasser, par journée de maladie, à partir de la première constatation médicale, 50 pour 100 de la moyenne générale des salaires de base ayant, l'année précédente, donné lieu dans chaque caisse à cotisation ; 3° les dispositions du deuxième alinéa du paragraphe 5 de l'article 4 de la loi ne seront obligatoires pour les caisses qu'un an après la mise en vigueur des assurances sociales. Il a été recommandé toutefois aux caisses de fixer, dès maintenant, dans leur tarif de responsabilité, le chiffre maximum de dépenses qu'elles rembourseront pour une maladie, par journée, ce chiffre ne devant pas être inférieur à un minimum donné et pouvent varier suivant la durée de la maladie. Mais, aux termes de l'article 4, paragraphe 9, de la loi, l'assuré dont l'état nécessite des soins préventifs ou qui est atteint d'une maladie ne comportant pas la cessation du travail, reçoit les indemnités spéciales qui sont prévues dans le règlement intérieur. Il appartient, dans ces conditions, aux caisses d'assurances de fixer dans leur règlement, ou de préférence dans le tarif de responsabilité annexé à ce règlement les indemnités spéciales qu'elles entendent accorder dans le cas envisagé par l'honorable député.

Sur le cas où les salariés refusent de verser aux employeurs leurs cotisations aux assurances sociales.

Le « Journal officiel » du 19 novembre 1930 publie, page 3479 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

9834. — M. J. Desgranges demande à M. le ministre du Travail : 1° ce que devront faire les employeurs au cas où un ou plusieurs assurés refuseront, soit individuellement, soit collectivement, de verser leurs cotisations pour les assurances sociales et d'accepter leurs salaires ainsi diminués ; 2° ce qu'ils devront faire des fonds ainsi refusés ; 3° que devront faire les employeurs des fonds retenus et de ceux qu'ils doivent verser eux-mêmes pour les tâcherons à domicile travaillant pour plusieurs maisons et qui, ayant fait tardivement leur déclaration de salarié, ne posséderont pas leur carte au moment de la paye ; 4° sur quelle base se fera la répartition des versements entre la carte annuelle et le feuillet trimestriel ; 5° quand les employeurs connaîtront les moyens annoncés par la loi et permettant d'effectuer les versements autrement que par l'apposition de timbres sur les cartes. (Question du 11 juillet 1930.)

Réponse. — 1° et 2° Le salarié ne peut s'opposer ni juridiquement, ni matériellement au prélèvement de la cotisation ouvrière effectué par l'employeur, par précompte sur le salaire. Si le salarié refuse le payement de son salaire ainsi diminué, l'employeur se trouve dans la situation d'un débiteur qui désire se libérer mais ne le peut par suite de l'opposition du créancier. L'employeur peut se borner, dans ces conditions, à attendre l'action du salarié ; 3° à défaut de présentation, par les salariés, des cartes de cotisations, la double contribution est acquittée par l'employeur dans les conditions prévues par l'article, paragraphe premier, de la loi ; l'employeur demande au service départemental de lui délivrer des duplicata des cartes que les assurés ne présentent pas et appose sur ces cartes les timbres correspondant aux cotisations qui doivent être payées ; 4° le feuillet trimestriel doit recevoir les timbres correspondant au montant de la cotisation ouvrière et la carte annuelle ceux qui correspondent au montant de la cotisation patronale ; 5° les décrets et arrêtés ci-dessous énumérés ont déterminé les modes de versement des cotisations des assurances sociales, autres que l'apposition de timbres sur les cartes et feuillets de cotisations : décret du 11 juillet 1930, versements en espèces ou par chèque ; décret du 28 juin et du 2 juillet 1930, versements en vignettes pour les dockers et les employés des sociétés de courses ; décret du 5 septembre 1930, versements en vignettes pour les salariés des professions à embauchages et débauchages fréquents ; décret du 5 septembre 1930, emploi des machines à affranchir.

Sur la contribution patronale aux assurances sociales sur le salaire payé à un ouvrier ayant 65 ans révolus.

Le « Journal officiel » du 15 novembre 1930 publie, page 3441 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

10204. — M. Paul Constans demande à M. le ministre du Travail : 1° si un salarié âgé de 65 ans révolus, bénéficiaire de la retraite ouvrière de 1910, continuant à travailler comme salarié, doit verser sa cotisation aux assurances sociales ; ajoute que son employeur verse 5 pour 100 du salaire de l'ouvrier pour assurance vieillesse et maladie ; 2° quels avantages ce salarié peut retirer de ses versements à 4 pour 100 en vertu de la loi sur les assurances sociales ; ajoute que l'administration locale n'a pu renseigner le salarié. (Question du 4 novembre 1930.)

Réponse. — 1° et 2° Le salarié considéré est exclu, en raison de son âge, du bénéfice de l'assurance obligatoire. Son salaire ne doit être l'objet d'aucun prélèvement. Par contre, ce salarié donne lieu, aux termes de l'article 3, paragraphe 3, de la loi du 30 avril 1930, au profit du fonds de majoration et de solidarité créé par la loi précitée, au versement de la contribution patronale afférente à la catégorie dans laquelle ce salarié serait classé, s'il était assuré. Ce versement doit être effectué dans les formes fixées par l'article 15, paragraphe 2, du décret du 25 juillet 1930, portant règlement d'administration publique pour l'exécution de la loi sur les assurances sociales.

Sur la non-possibilité d'imputer sur les bénéfices les pertes antérieures lorsque celles-ci ont été comblées par une réduction du capital social.

Le « Journal officiel » du 7 novembre 1930 publie, page 3289 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

8723. — M. Jean Lerolle demande à M. le ministre du Budget si une société anonyme, ayant subi une perte pendant un exercice postérieur au 1er janvier 1928, peut, après qu'une réduction de son capital égale à cette perte a été décidée par une assemblée générale dans un but d'assainissement de sa situation, imputer la perte en question sur les résultats des exercices ultérieurs jusqu'au troisième, comme le prévoit l'article 3 du chapitre 11 de la première partie de la loi des finances du 30 décembre 1928, même dans le cas d'une distribution aux actionnaires de tout ou partie des résultats des exercices postérieurs à celui qui s'est soldé par une perte (Question du 16 avril 1930).

Réponse. — Réponse négative. L'assemblée générale des actionnaires ayant décidé de combler la perte par une réduction équivalente du capital social, il n'apparaît plus de déficit susceptible d'être reporté sur les bénéfices des exercices suivants dans les conditions prévues à l'article 3 de la loi du 30 décembre 1928.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 24. — 13 DÉCEMBRE 1930.

Chronique. — Société française des Electriciens : Séance du 6 décembre 1930, p. 921. — Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique de divers projets de normalisation, p. 922. — Bibliographie : Carte des usines génératrices, des réseaux de distribution et des lignes de transmission de l'Afrique du Nord, éditée par la SOCIÉTÉ FINANCIÈRE ÉLECTRIQUE, p. 922.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (septembre 1930) (*suite*), p. 923.

Section scientifique et technique. — Quelques aspects de la théorie quantique des spectres lumineux, par L. BRUNINGHAUS, p. 933. — Revues, analyses et informations : Etablissement de la formule générale des champs tournants à l'aide des nombres complexes, p. 947; Méthode d'accroissement de la sensibilité des cellules photoélectriques à métaux alcalins, p. 947; Le rétablissement des arcs alternatifs de faible longueur, p. 948.

Section industrielle. — Le poste central de contrôle et de commande électrique à distance de la chauffe à l'usine d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité, p. 949. — Revues, analyses et informations : Convertisseur de fréquence de 35 000 kilowatts constitué par un groupe moteur synchrone et génératrice synchrone, p. 963; Etude critique des théories sur le fil de terre, p. 964.

Section économique et financière. — La Section de Documentation de la Société des Transports en commun de la Région parisienne, p. 965. — Assemblées générales : Société d'Electricité de Paris, p. 967; Electricité du Nord-Est parisien, p. 968.

Société française des Electriciens : Séance du 6 décembre 1930. — L'ordre du jour de cette séance, qui s'est tenue sous la présidence de M. H. Parodi, comportait une seule communication intitulée *Etat actuel de l'électrification des chemins de fer en Italie*, par M. BIANCHI, ingénieur en chef des Services des Etudes de Traction électrique aux Chemins de fer de l'Etat italien. Le sujet traité ayant fait, au cours de l'année dernière, l'objet d'un article publié dans cette revue (1), il ne sera donné ici qu'un aperçu des points essentiels de cette communication.

1. COMMUNICATION DE M. BIANCHI. — L'auteur retrace d'abord l'historique de l'électrification des chemins de fer italiens depuis 1897, époque à laquelle une commission fut nommée à l'effet d'étudier les avantages économiques de la traction électrique. Il rappelle les premières expériences de traction électrique à accumulateurs, celles à courant continu à 500 v avec troisième rail sur la ligne de Milan à Monza et enfin les résultats obtenus sur les chemins de fer de la Valteline avec le courant triphasé, à 16 p : s et 3 000 v, résultats à la suite desquels l'électrification fut étendue dans ce système aux lignes à grand trafic et à fortes rampes telles que celle de Portedecimo à Busalla, près de Gênes, avec rampes de 35 pour 1 000. La possibilité de doubler le poids des trains et la vitesse conduisit à un accroissement considérable de la capacité de ces lignes et à une réduction des dépenses d'exploitation correspondant au vingtième de celles inhérentes à la traction à vapeur.

Entre les années 1910 et 1916 l'électrification a porté sur environ 370 km de voies avec les lignes Savone à Ceva, Bussoleno à Modane, Monza à Lecco, Turin à Pinerol et Sampierdarena à Savone.

Dans le but d'élargir davantage le domaine de l'électrification des chemins de fer, on préconisa en 1920 l'adoption de systèmes de traction susceptibles d'être alimentés par des lignes de transmission d'énergie à fréquence industrielle et non par un réseau spécial. La valeur de cette recommandation motivée par des considérations d'ordre économique s'affirme davantage si on tient compte qu'actuellement la consommation annuelle d'énergie pour les besoins de la traction n'est que de 347 millions de kilowatts-heures vis-à-vis d'une consommation totale de 10 milliards de kilowatts-heures, le trafic sur les lignes électrifiées représentant 20 pour 100 du trafic total.

Ces considérations ont motivé l'adoption du courant triphasé à la fréquence de 45 p : s sur la ligne de Rome à Sulmona (173 km) et du courant continu à 3 000 v sur la ligne de Benevento à Foggia (100 km) dont le prolongement à Naples est en cours d'électrification ainsi que sur la ligne de Bologne à Florence dont les travaux d'électrification sont en voie d'achèvement.

La longueur des lignes actuellement électrifiées en Italie s'élève à environ 1 500 km ; ce chiffre sera porté à 2 000 km en 1932. Le nombre des locomotives en service sur ces lignes est de 791 assurant un service équivalent à celui que fourniraient 1 200 locomotives à vapeur. Le parcours annuel de ces machines est d'environ 100 000 km ; elles subis-

(1) L. VELLARD ; La traction électrique sur les chemins de fer italiens. *Revue générale de l'Electricité*, 16, 23 et 30 mars 1929, t. XXV, p. 411-421, 445-461 et 491-499.

sent une révision après 18 à 24 mois de parcours ininterrompu.

La consommation d'énergie par tonne-kilomètre est de 20 à 25 w-h.

En ce qui concerne les sous-stations de traction, l'auteur décrit deux types de sous-stations transportables tant en courant alternatif qu'en courant continu. Dans ce dernier cas, ces installations sont équipées avec un redresseur à vapeur de mercure de 2 000 kw alimenté par un transformateur de 2 250 kv-a. Le prix de ces sous-stations est environ le tiers ou la moitié de celui des sous stations avec bâtiment en briques et en béton.

L'auteur aborde ensuite la question des locomotives : dans les locomotives à courant triphasé à basse fréquence la transmission de l'effort moteur aux essieux s'effectue par des bielles. Dans les machines des plus récents modèles ces bielles sont articulées (système Bianchi) et le réglage de la vitesse comporte quatre échelons obtenus, le premier, par couplage en cascade des deux moteurs et les autres, par couplage en parallèle de ces derniers avec 12, 8 et 6 pôles correspondant respectivement à des vitesses de 50, 72 et 100 km : h.

Les locomotives à courant triphasé à fréquence industrielle sont pourvues d'engrenages. Quant aux locomotives à courant continu à 3 000 v, celles à grande vitesse comportent six essieux commandés individuellement par moteur d'une puissance unihoraire de 350 kw sous 1 500 v avec transmission de l'effort par engrenages et suspension par le nez. Un autre type de machine comporte trois essieux et deux boggies, chaque essieu étant attaqué par deux moteurs jumelés au moyen d'engrenages et d'un arbre creux qui transmet l'effort par l'intermédiaire de ressorts à lames. Ce mode de transmission, système Bianchi, présente l'avantage d'éviter les ruptures qui se produisent parfois sur les ressorts hélicoïdaux employés habituellement et le frottement intérieur dû à ces ressorts crée un amortissement propre à éviter les oscillations entre l'arbre creux et la roue motrice.

Les parties mécaniques et l'appareillage électrique des trois types existant de locomotives à courant continu ont été normalisés.

En terminant, M. Bianchi émet l'opinion que l'Italie doit poursuivre l'électrification de ses chemins de fer en tenant compte des exigences d'ordre économique et en cherchant à utiliser l'énergie électrique à fréquence industrielle.

2. Discussion. — A la suite de la présentation de cette communication, M. Bianchi répondant aux questions posées par MM. Parodi, Gratzmuller et Leboucher précisa divers points concernant l'entretien des lignes de contact triphasées, la vitesse maximum atteinte par les trains, les résultats obtenus avec la traction par courant triphasé à la fréquence industrielle et enfin les accouplements élastiques à ressorts à lames dont il a été question plus haut. — L. V.

Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique de divers projets de normalisation. — Le Comité de Normalisation de la Mécanique soumet à une enquête publique dans le numéro de novembre 1930 de son « Bulletin mensuel » deux projets de normalisation concernant les chaînes pour appareils de levage à maillons courts (C N M 501) et à maillons longs (C N M 502).

Ces projets ne concernent que les chaînes calibrées, sans étai, pour appareils de levage. Leur normalisation a cependant été établie en tenant compte dans la mesure du possible, et malgré des conditions d'emploi très différentes, des chaînes en usage dans la Marine, de façon à unifier autant que faire se pouvait la fabrication des deux types de chaînes.

La série des diamètres est basée sur l'emploi de la série internationale S. I. de manière à réduire le nombre de barres rondes à prévoir, conformément aux principes d'homogénéité des normalisations exposés dans la norme C N M 110. Les diamètres s'échelonnent en série S. I. complète jusqu'à 42 et en série S. I. à intervalles doublés au delà. Cette solution présente, en outre, l'avantage de conserver un très grand nombre des diamètres actuellement prévus par la Marine nationale et le Bureau Véritas, ainsi que par les normes étrangères.

Pour les chaînes à maillons courts du projet C N M 501, deux propositions étaient en présence, celle de la Marine nationale, avec longueur interne de la maille égale à 2,5 fois le diamètre et largeur égale à 1,25 fois ce même diamètre, et celle des fabricants avec longueur interne égale à 3 fois le diamètre et largeur égale à 1,3 fois ce même diamètre. C'est cette dernière solution qui a été retenue, comme étant la plus économique.

De même, pour les chaînes à maillons longs du projet C N M 502, c'est la solution des fabricants qui est prévue : longueur interne égale à 3,5 fois le diamètre, au lieu de 3,25 fois le diamètre, chiffre admis par la Marine, cette dernière proportion étant trop voisine du chiffre 3, adopté pour les maillons courts.

Toutes objections à ces projets (dont un exemplaire gratuit pourra être envoyé sur demande, pendant la durée de l'enquête) devront parvenir au Comité de Normalisation de la Mécanique, 92, rue de Courcelles, Paris (8e) avant le 31 janvier 1931, date de clôture de l'enquête publique.

Bibliographie : Carte des usines génératrices, des réseaux de distribution et des lignes de transmission de l'Afrique du Nord, éditée par la Société financière électrique (1). — En présence de l'important développement des industries de l'électricité dans l'Afrique du Nord, il a paru intéressant à la Société financière électrique d'établir un document indiquant les zones d'activité des principales entreprises de production et de distribution d'énergie électrique qui contribuent à l'essor industriel des régions desservies. Cette société, qui a déjà établi plusieurs éditions d'une carte des réseaux électriques français (2), publie une carte d'ensemble des lignes et des usines en Algérie, en Tunisie et au Maroc. Sur cette carte, à l'échelle de 1/1 000 000, en deux feuilles, gravée en deux couleurs sur papier fort, sont présentés, en exploitation, en construction et en cours d'études, les centres de production d'énergie électrique, les lignes d'une tension égale ou supérieure à 15 000 v et les voies ferrées électrifiées.

Cette carte rendra donc d'utiles services à tous ceux qui s'intéressent à l'état de l'électrification de l'Afrique du Nord. — R. L.

(1) Une carte, en deux feuilles, format 110 cm × 80 cm chacune, assemblées ou non assemblées, éditées par la Société financière électrique, 39, avenue de Friedland, à Paris (8e). Prix : 120 fr.

(2) Jacques Sordet ; Carte d'ensemble des réseaux électriques *Revue générale de l'Electricité*, 29 mai 1926, t. XIX, p. 866-867.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique (Septembre 1930) (*Suite*) (*)

VI. La propagande générale d'éclairage

Un seul rapport, le rapport général de M. Imbs, a été présenté sur cette question ; en l'absence de M. Imbs, son rapport fut lu intégralement par M. Brylinski, délégué général.

I. **La propagande générale d'éclairage de quelques pays appartenant à l'Union internationale.** Rapport général de Ed. Imbs, président de la Commission des Lampes de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs de l'Energie électrique.

Ce rapport, de neuf pages de texte, constitue un aperçu de l'organisation de cette propagande en Belgique, au Danemark, en Italie, aux Pays-Bas, en Pologne et en Suisse. Cette question intéresse à la fois les producteurs et distributeurs d'énergie électrique et les fabricants de lampes. Aussi voit-on dans ces divers pays des groupements se former sur l'initiative, soit des producteurs et distributeurs, soit des fabricants, et prendre des mesures pour favoriser le développement de l'éclairage.

En *Belgique*, ce sont les fabricants de lampes qui sont les promoteurs de cette propagande ; les organismes en question sont le Bureau d'Etudes Philips et le Service d'Eclairage de la Lampe Mazda, qui ont nécessairement un caractère commercial ; mais, en dehors de l'établissement de projets et de devis d'installation, ces services ont entrepris des campagnes en faveur de l'éclairagisme, campagnes se traduisant par des conférences dans les locaux mêmes de ces organismes ou dans des lieux publics et par des visites aux abonnés des sociétés de distribution ; ici, interviennent les producteurs et distributeurs qui facilitent ces visites, acceptent en dépôt des appareils et chargent même parfois leurs propres agents d'entreprendre cette propagande auprès de leur clientèle.

Au *Danemark*, la propagande pour le développement de l'éclairage est organisée depuis 1927 grâce à la coopération des distributeurs d'énergie électrique, des fabricants d'appareils et des installateurs. Les producteurs et distributeurs de gaz, d'une part, et ceux d'énergie électrique, d'autre part, ont confié l'organisation de cette propagande à un comité composé de membres représentant les diverses branches intéressées. Ce comité procéda avec méthode et entreprit en 1927-1928 une campagne en faveur de l'éclairage des vitrines à Copenhague, qui fut poursuivie et complétée en 1928-1929 en faveur des enseignes de magasins ; en 1929-1930 a été entreprise une campagne pour l'éclairage des habitations. Ces campagnes se font au moyen de tracts et de publications dans des journaux convenablement choisis et enfin le comité de propagande possède un journal périodique destiné à rendre compte à ses lecteurs, notamment des installateurs, des campagnes entreprises. A noter encore la collaboration dudit comité avec une association des ménagères à Copenhague pour l'installation d'une salle de démonstration relative à l'éclairage de cuisines, de salles de bains, etc.

En *France*, un grand nombre de sociétés intéressées au développement de l'éclairage et, en particulier, les sociétés de production et de distribution d'énergie électrique confièrent la propagande en faveur de l'éclairage à un organisme neutre, la Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage, qui ne fait aucune opération commerciale. Cet organisme contribua d'abord à la création de cours réguliers qui ont lieu deux fois par an à l'Ecole supérieure d'Electricité. Il a collaboré techniquement et pécuniairement à l'organisation d'un centre de recherches au Laboratoire de Physiologie du Travail, d'Hygiène industrielle et d'Orientation professionnelle ; enfin, cette même société a installé dans ses locaux un laboratoire de photométrie dans lequel il est procédé à l'examen des nouveaux appareils qui lui sont soumis par les fabricants et à des recherches de caractère plus général sur différentes questions intéressant l'éclairage, utilisation des lampes dépolies avec les diffuseurs, rendement des diffuseurs en verre opalin, influence du centrage des lampes à l'intérieur de globes en verre opalin, etc. La Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage procède également à l'étude de projets d'installations d'éclairage et ceci, gratuitement et, il importe de le répéter, sans poursuivre un but commercial. En ce qui concerne la propagande proprement dite, elle édite des tracts répandus en grand nombre dans le public et des brochures présentant les questions relatives à l'éclairage sous une forme à la fois technique et simple, autrement dit de lecture facile.

La propagande en *Italie* eut son origine au Congrès annuel de l'Associazione elettrotechnica, à Spezia, en 1924. Les principaux fabricants de lampes et les sociétés de distribution d'énergie électrique s'unirent

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 22, 29 novembre et 6 décembre 1930, t. XXVIII, p. 803-812, 843-850 et 885-894.

pour instituer un organisme central de propagande, l'Associazione nazionale per lo Slivuppo dell Illuminazione. Cette association publie une revue mensuelle, l'« Illuminazione », ainsi que des bulletins de propagande. Elle a organisé des cours d'éclairage, des conférences et créé des salles de démonstration dans plusieurs villes.

Dans les *Pays-Bas*, la propagande en faveur de l'éclairage est faite essentiellement par la N. V. Philips, d'Eindhoven.

En *Pologne*, il s'est créé à Varsovie, en 1929, une société de propagande qui comprend des membres effectifs et des membres protecteurs, ces derniers comprenant les sociétés intéressées, sociétés de production et de distribution d'énergie électrique et les fabricants de lampes et d'appareils d'éclairage. Elle établit des relations entre tous les groupements et tous les organismes susceptibles de contribuer au développement de l'éclairage et procède à la publication de tracts et de brochures, à la création de salles de démonstration, etc.

En *Suisse*, l'Union des Centrales suisses, l'Association suisse des Installateurs électriciens et celle de douze fabriques syndiquées de lampes électriques ont établi récemment un accord pour la création de l'Office d'Eclairagisme, dirigé par une commission dans laquelle chacun des trois groupements précités est représenté par deux membres. En fonctionnement depuis le 1er janvier 1930, la commission a entrepris d'abord la formation de groupements locaux dans tous les centres de quelque importance de la Suisse. Il est spécifié dans l'accord à la base de la création de l'Office d'Eclairagisme qu'une somme égale au produit de 0,03 fr par le nombre de lampes achetées par les sociétés de distribution et les installateurs sera consacrée à des buts devant profiter au perfectionnement de l'éclairage.

II. **Discussion.** — M. Clerici (Italie) donne un certain nombre de renseignements sur l'utilité de la propagande pour un meilleur éclairage et sur les méthodes employées en Italie. Il montre les difficultés que l'on peut avoir à chiffrer les résultats tangibles de cette propagande et aborde la question de la qualité des lampes mises dans le commerce en signalant qu'à son avis, il y a un avantage économique pour l'usager à employer des lampes de consommation moins élevée qu'autrefois, même si la durée de ces lampes doit être moindre; d'ailleurs, selon lui, si la durée des lampes n'est pas aussi grande qu'on pourrait l'espérer, c'est à cause des variations de la tension qui se produisent sur les réseaux de distribution.

Les déclarations de M. Clerici sur ce dernier point soulèvent de vives discussions; plusieurs membres du Congrès, notamment MM. Duquesne et Scoumanne (Belgique), indiquent qu'il serait utile que les lampes ne fussent pas prévues pour des réseaux remplissant des conditions théoriques, mais bien pour des réseaux tels qu'ils sont en réalité; il faut, en effet, tenir compte du fait que les variations de tension qui peuvent se produire sur bien des réseaux sont inévitables, si ce n'est moyennant des dispositions telles que les frais d'établissement de ces réseaux deviendraient exagérés.

M. Lavallette (de Constantinople) développe également quelques considérations intéressantes sur l'utilité de la propagande et la difficulté d'en apprécier les résultats sous forme de chiffres. MM. Meyer (de Strasbourg) et Duquesne envisagent également la question de l'éclairage public. M. Rich (Angleterre) signale à son tour la nécessité pour les consommateurs d'avoir des lampes, non seulement consommant peu, mais surtout solides, et qu'ils ne soient pas obligés de remplacer trop souvent. Comme conclusion de ces discussions, le Congrès demande au Comité de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique de compléter la Commission des Lampes actuellement existante en lui adjoignant une sous-commission chargée plus spécialement d'établir les desiderata des distributeurs au sujet de la fabrication des lampes. — A. C.

VII. Propagande auprès des abonnés

Les problèmes relatifs à la propagande auprès des abonnés dans le but de favoriser le développement de la consommation d'énergie électrique et ceux concernant spécialement les formes de cette consommation présentent une certaine connexité. C'est pourquoi les rapports présentés dans la section qui nous occupe traitent soit spécialement de la propagande proprement dite, soit des applications de l'énergie électrique telles que l'éclairage, le chauffage, les recherches électriques, etc., toutes susceptibles d'un développement considérable au moyen d'une organisation bien comprise de cette propagande.

I. **La propagande auprès des abonnés, y compris diverses applications de l'électricité, les progrès de l'éclairagisme, les véhicules à accumulateurs.** Rapport général de Casimir Straszewski, ingénieur, directeur de la Centrale électrique régionale de Pruszkow (Pologne). — Dans ce rapport de dix pages de texte, l'auteur rappelle l'intérêt toujours croissant que présente pour les producteurs et les distributeurs d'énergie électrique le développement des moyens de propagande en faveur de la consommation de cette énergie. Il analyse ensuite divers rapports consacrés à ce sujet ou s'y rattachant plus ou moins directement et dont les résumés sont donnés plus loin. Il termine enfin par l'exposé de suggestions destinées à fournir aux membres de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique les données concernant les questions de propagande. A cet effet, l'auteur propose la création d'un bureau permanent de propagande, de préférence auprès de l'Union, bureau dont les travaux répondraient aux divers buts suivants :

1° Assembler des matériaux relatifs à la propagande

menée dans les pays particuliers et par les institutions de propagande particulières;

2° Donner de brefs comptes rendus sur ces travaux aux Unions nationales par l'intermédiaire des bulletins de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique;

3° Donner des réponses sur ces problèmes aux questions adressées par les organismes nationaux;

4° Assembler les publications des pays particuliers concernant la propagande et en informer les membres. Ainsi serait rassemblée à l'Union internationale une précieuse collection de ces publications qui serait à la disposition des membres;

5° Maintenir un contact continu avec les institutions semblables travaillant dans ce domaine;

6° Préparer des enquêtes sur ces questions et des thèmes pour les rapports aux prochains congrès de l'Union.

Il est à remarquer que, malgré le nombre assez important de rapports, il n'en fut envoyé cette fois que de sept pays, soit : de la Belgique, de l'Espagne, de la France, de la Hollande, du Japon, de la Pologne et de la Suisse; quatre rapports seulement, ceux de la Belgique, la France, la Pologne et la Suisse traitent les questions générales de la consommation d'énergie et de la propagande.

II. **Le parti à tirer des réseaux ruraux à moyenne tension.** Rapport de Maurice Bitouzet, directeur des services commerciaux du Nord-Lumière (Le Triphasé). — Dans ce rapport de six pages de texte, avec six figures, l'auteur étudie plus particulièrement les progrès réalisés en France dans l'emploi de l'électricité pour le labourage et le battage. Le développement de la consommation sur les réseaux à moyenne tension apparaît de plus en plus indispensable pour remédier à la menace financière qui commence à peser sur les réseaux ruraux. En effet, tant que le renouvellement du matériel ne s'imposait pas, la situation financière de ces réseaux demeurait acceptable; mais ceux-ci étant parvenus à une époque où la vétusté du matériel requiert des transformations et des réparations, les charges d'exploitation se trouvent lourdement grevées, la tendance générale ayant été de serrer à l'extrême les prix de vente. L'auteur estime donc que dans de telles conditions, la solution qui s'impose est, non pas d'augmenter le prix de vente de l'énergie électrique mais d'en accroître la consommation.

1. Labourage. — Les opérations de labourage effectuées électriquement rencontrent auprès des exploitants agricoles une grande faveur comme on peut s'en rendre compte par le tableau I.

Cette faveur s'explique facilement tant par la qualité impeccable du travail exécuté que par la rapidité et la sûreté de l'exécution.

2. Battage en plaine. — Le battage en grange n'est pas admissible dans les exploitations importantes qui, en battant leur blé sur le lieu même de la récolte, économisent des manutentions coûteuses et des emplacements quelquefois précieux dans les bâtiments de la ferme. Les machines employées absorbent des puissances variant de 15 à 25 ch. Elles sont naturellement mobiles. Pour éviter l'emploi de locomobiles ou de moteurs à essence trop délicats et trop coûteux et éviter ainsi de faire appel aux entrepreneurs de battage, il a été constitué des groupes mobiles formés de deux remorques, l'une portant une cabine de transformation, l'autre, un moteur. Cet ensemble, amené à pied d'œuvre et raccordé au réseau par les soins de l'entreprise, est loué à la journée aux exploitations agricoles, l'énergie consommée étant facturée en plus. Là aussi, les demandes de location n'ont pu, au cours de la campagne 1929-1930, être satisfaites en totalité, les agriculteurs n'hésitant pas à effectuer par eux-mêmes les opérations extrêmement simples que comportent la mise en marche, l'arrêt et l'entretien courant d'un moteur électrique.

Tableau I. — *Résultats d'exploitation relatifs au labourage électrique.*

Périodes de labourage	Nombre de matériels exploités	Nombre d'hectares labourés à une profondeur de 30 à 35 cm	Recettes correspondantes francs
1926/1927	7	1 400	450 000
1927/1928	9	1 400	680 000
1928/1929	9	2 000	700 000
1929/1930	11	2 500	875 000

Il a été vendu ainsi pendant cette campagne, qui doit être considérée comme un début, car elle n'a commencé que tard dans la saison, une quantité d'énergie de 5 600 kw h, à titre de battage en plaine.

3. Autres applications. — La réalisation mécanique simultanée des deux opérations, exécutées jusqu'alors à la main, de l'arrachage et du décolletage de la betterave n'a pu être obtenue qu'au cours de ces toutes dernières années. L'adaptation en vue de la traction par treuil a nécessité une certaine mise au point qui n'est pas terminée au point de vue des essais pratiques. Il en est de même pour le débardage de la récolte.

4. Réalisations pratiques. — 1° *Prises de courant.* — En raison des difficultés de réaliser des prises de courant simples et présentant le maximum de sécurité, on s'est efforcé de réduire l'importance des parties de l'appareil de prise de courant reliées à demeure au réseau, la majeure partie étant alors incorporée dans l'appareillage du poste mobile. L'appareil employé actuellement, en service depuis deux ans, est l'échelle de prise de courant à contacts spéciaux, système Girard, qui donne toute satisfaction.

2° *Cabines de transformateurs mobiles.* — Ces cabines sont de deux types, le premier de grande puissance

pour les travaux de labourage absorbant une puissance de 100 à 200 kw, le second de puissance moyenne pour les autres travaux. L'expérience a amené à constituer le poste du personnel par un fourgon spécial léger afin d'éviter l'embourbage.

Pour le second type de ces cabines, l'emploi de prises multiples sur le côté de la haute tension du transformateur a permis de résoudre la principale difficulté provenant du fait que les canalisations souples entre le poste et le treuil étaient à basse tension, ce qui donnait lieu à des pertes non négligeables.

5. Conclusion. — Ainsi, quand on considère qu'un labour profond consomme en moyenne 100 kw-h à l'hectare, qu'une batteuse-presseuse consomme environ 1,2 kw-h au quintal, c'est-à-dire en moyenne 30 kw-h à l'hectare, qu'une arracheuse-décolleteuse de betteraves doit, d'après les dernières évaluations, requérir une puissance de 25 à 30 kw, qu'un treuil de débardage doit demander une puissance sensiblement égale, on peut se faire une idée des développements que peut prendre la consommation d'énergie électrique dans les applications de l'électricité aux travaux des champs.

D'autres aplications peuvent, dans l'avenir, nécessiter l'emploi de puissances importantes que seuls peuvent fournir dans des conditions satisfaisantes les réseaux à moyenne tension. Il y a donc un intérêt capital pour les agriculteurs, comme pour les distributeurs, à chercher ensemble les moyens financiers et techniques permettant de créer un puissant matériel électrique mobile comportant, en outre, des appareils d'utilisation, des postes de transformation mobiles de différentes puissances.

III. Comment assurer le développement de la consommation domestique d'électricité? Rapport de A. Antoine, directeur général de l'Electricité de Strasbourg. — Le but de ce rapport, de quarante-quatre pages de texte, avec huit graphiques, est l'étude des possibilités d'accroissement de la consommation d'énergie électrique et celle des moyens à adopter à cet effet, problèmes dont l'importance s'affirme et qui, de ce fait, attirent actuellement l'attention des sociétés de distribution. Après avoir comparé la consommation en France à celle dans les autres pays, l'auteur examine les facteurs des différences constatées. Il expose, avant d'entreprendre son étude, les avantages de l'augmentation progressive de la charge domestique.

1. Les applications domestiques de l'électricité. — Bien que le but du rapport qui nous occupe ne soit pas de décrire les applications domestiques de l'électricité, il a paru indispensable, avant de parler des méthodes à employer pour augmenter la consommation, de considérer le matériel dont on dispose dans divers pays et les caractéristiques dont les constructeurs doivent s'inspirer, s'ils veulent développer leurs ventes et faciliter la tâche des sociétés de distribution d'énergie. Ce matériel se rapporte à l'éclairage, la cuisine et le chauffage électriques. L'auteur examine les qualités que doivent présenter les appareils domestiques électriques : c'est-à-dire la sécurité de fonctionnement, la robustesse, la facilité d'entretien et de réparation, la souplesse et, le cas échéant, l'automaticité du fonctionnement; de plus, ces appareils doivent être adaptés aux besoins de la clientèle, être conçus pour un fonctionnement économique et un prix de vente abordable.

2. Les tarifs destinés a favoriser l'emploi de l'électricité. — L'auteur signale d'abord les défauts présentés par les tarifs en vigueur. Ceux-ci, en effet, ne tiennent pas compte de la dégression du prix de revient de l'énergie quand la consommation augmente et sont, de plus, nettement prohibitifs pour l'emploi d'un certain nombre d'appareils. L'auteur élimine la solution simpliste qui consiste à diminuer le taux du kilowatt-heure et fait la critique des palliatifs proposés tels que les tarifs variant suivant les différentes applications domestiques et la tarification variable suivant les heures de la journée, etc.

Pour l'étude de tarifs convenables, le problème initial essentiel à résoudre est l'établissement du prix de revient de l'énergie pour le service domestique.

A cet effet, il faut déterminer pour chaque catégorie d'abonnés (applications domestiques, clientèle commerciale industrielle, vente en gros aux réseaux voisins) les caractéristiques suivantes : 1° Recette annuelle, nombre de kilowatts-heures vendus, recette par kilowatt-heure, puissance maximum demandée, etc.; 2° Les immobilisations, le capital engagé et les frais d'exploitation.

On en déduit, par certaines considérations, une courbe qui fait ressortir, d'une part, l'importance des dépenses de l'exploitation pour les applications domestiques dont la consommation est à peu près nulle et, d'autre part, la décroissance du prix de revient par kilowatt-heure, au fur et à mesure que la consommation de l'abonné augmente. Une fois ces études de prix de revient établies, on ne peut déduire exactement le prix de vente de l'énergie pour la clientèle domestique, car l'étude du prix de revient a pour but essentiel de s'assurer qu'aucun des tarifs que l'on étudie ne descendra au-dessous du prix de revient du service correspondant, en tenant compte des capitaux investis pour la catégorie envisagée, et aussi de vérifier périodiquement le rendement des capitaux engagés pour chaque catégorie de consommateurs. Mais il ne faut pas oublier que la tarification est, en définitive, une opération commerciale et que, dans la fixation de tarifs réels, il faut tenir compte des procédés concurrents et se demander ce que le client peut raisonnablement payer pour un service déterminé.

Après avoir indiqué les qualités que doit présenter une tarification rationnelle, l'auteur envisage ensuite les éléments du tarif dégressif; puis, prenant en considération l'intérêt que présentent la marche continue et l'amélioration du diagramme de charge, il signale

encore la nécessité d'une tarification spéciale pour l'énergie fournie la nuit.

3. Comment assurer le contact avec le public? — Il est indispensable d'employer les moyens les plus divers, afin d'être certain d'intéresser, d'une façon ou d'une autre, les différentes catégories de clients. Le programme général à développer est le suivant : faire connaître au public : 1° les notions élémentaires d'électricité ; 2° les applications domestiques de l'énergie électrique ; 3° les caractéristiques du service électrique, c'est-à-dire les tarifs adoptés, les conditions de location des appareils, etc. ; 4° des renseignements généraux sur la marche des entreprises d'électricité pour créer une atmosphère de confiance au sein de la clientèle.

L'auteur signale encore comme moyen de favoriser l'installation ou la transformation des canalisations intérieures des immeubles, les ententes réalisées aux Etats-Unis entre les sociétés productrices et les associations d'architectes.

4. La vente et l'entretien des appareils électriques domestiques. — Il paraît indispensable, en comparant divers résultats obtenus aux Etats-Unis, que les sociétés de distribution vendent elles-mêmes le matériel d'utilisation d'énergie électrique pour stimuler ces ventes, surtout dans les campagnes ; mais elles doivent s'efforcer de coopérer avec les installateurs détaillants. La meilleure solution à adopter pour une société de production est d'assurer cette vente par l'intermédiaire d'une filiale dont elle a le contrôle exclusif.

Quant aux méthodes de vente envisagées, elles ne diffèrent pas essentiellement des méthodes commerciales largement employées aux Etats-Unis, telles que l'emploi d'un camion de propagande, des visites chez le client, le remplacement gratuit des ampoules, la vente à crédit, etc. Mais quelle que soit la méthode employée, les sociétés de distribution doivent s'assurer que les appareils domestiques électriques sont convenablement entretenus et que la réparation de ces appareils ne crée pas de difficultés sérieuses à la clientèle.

5. Conclusion. — En résumé, si toutes les suggestions précédentes ne donnent pas lieu à une application systématique, il a paru intéressant de les signaler pour montrer la tendance actuelle qui consiste à assurer au client un « service électrique » aussi complet que possible ; à éviter au client des achats successifs de matériel électrique, en lui procurant à cet effet les facilités financières nécessaires ; enfin à suivre de près l'utilisation des appareils chez le client par des visites périodiques et, s'il y a lieu, par des abonnements d'entretien.

IV. **Les tendances du développement de la consommation, de l'organisation commerciale et de la propagande en France.** Rapport de P.-H. Pinard, ingénieur à la Compagnie électrique du Nord. — Ce rapport de vingt pages de texte concerne l'action commerciale concertée entre sociétés de distribution d'une même région en vue de l'accroissement de la consommation d'énergie électrique. Les résultats obtenus aux Etats-Unis sont, dans ce sens, particulièrement intéressants.

La recherche de la clientèle possible, la régularité de la fourniture d'énergie et l'étude des tarifs appropriés constituent les éléments essentiels du problème à résoudre.

Au sujet de la tarification de l'énergie, on peut ramener à deux modes les différents systèmes adoptés : 1° la tarification à deux termes, l'un proportionnel à la puissance souscrite et le second, à l'énergie consommée ; 2° la tarification comportant simplement un prix par kilowatt-heure consommé, soit avec une garantie d'utilisation, soit avec des échelles de prix dégressives suivant l'utilisation annuelle.

1. Fourniture d'énergie en haute et basse tension. — En France, la puissance moyenne apparente installée en haute tension par abonné, oscille entre 100 et 150 kv-a ; son utilisation moyenne ressort à 2 000 heures. Les tarifs, très variables suivant les régions desservies, sont tels que pour une industrie absorbant une puissance de 150 kv-a, avec une utilisation de 2 400 heures, le prix de vente moyen du kilowatt-heure pendant l'année 1929 a oscillé entre 0,48 fr et 0,55 fr. Au cours de cette même année, la consommation a marqué une progression de 15 à 25 pour 100 suivant les régions. A Paris cette augmentation de consommation a atteint 48 pour 100 et la progression des abonnés y a été de 33 pour 100.

Ce développement considérable n'a pas engagé les sociétés de distribution à perfectionner leurs méthodes commerciales et leur propagande. Cependant, en vue de l'accroissement de la clientèle rurale, des efforts sérieux ont été faits pour le développement possible et nécessaire du labourage électrique. Mais le prix encore élevé des appareils constitue un obstacle sérieux.

Pour ce qui est de l'énergie employée en basse tension, les efforts des sociétés de production ont surtout pour but d'augmenter la consommation par abonné. En particulier, elles ont été amenées à créer un organisme indépendant, la Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage, et le résultat de ces efforts est nettement encourageant.

2. Utilisations diverses de l'énergie électrique. — En dehors des grandes villes, les applications domestiques de l'énergie électrique sont encore ignorées du public. Le prix élevé du kilowatt-heure étant le plus sérieux obstacle à l'accroissement de la demande de l'énergie, une politique de tarifs est, selon l'auteur, encore plus indispensable que la propagande, bien que celle-ci se révèle déjà fructueuse, certains distributeurs ayant obtenu en effet, grâce à une active propagande, un accroissement de consommation d'environ 30 pour 100.

V. **Le développement de l'éclairage électrique au Japon et la propagande exercée en sa faveur.** Rapport du Denki Kyokai. — Dans ce rapport de quatre

pages de texte, les auteurs donnent d'abord la liste des organisations qui, au Japon, se sont fixé pour tâche le développement des utilisations de l'électricité. Ils citent ensuite les divers moyens de propagande adoptés (salles d'expositions, et de démonstration en particulier).

En ce qui concerne l'éclairage électrique, si la première lampe électrique a fonctionné au Japon en 1878, il a fallu néanmoins plusieurs années avant que fût constituée la Tokyo electric Light Co, la première des entreprises japonaises de distribution publique d'électricité. Depuis cette époque, la consommation d'énergie électrique a été en se développant, ainsi que la proportion du nombre d'habitations possédant l'éclairage électrique. Celle-ci qui était de 46 pour 100 en 1918 avait atteint 88 pour 100 en 1927. Dans les grandes villes, telles que Tokio et Kyoto, les abonnés payant leur consommation d'énergie au compteur sont beaucoup plus nombreux que ceux bénéficiant d'un tarif forfaitaire.

VI. **Les accidents sur les réseaux aériens à moyenne tension**. Rapport de R. Polack, ingénieur, chef des Services techniques de la grande Banlieue du Nord-Lumière (Le Triphasé). — Dans ce rapport de quatorze pages de texte se trouvent réunis divers renseignements concernant les accidents survenus au cours de l'exploitation d'un réseau de la grande banlieue parisienne du Nord-Lumière. Malgré les caractéristiques assez particulières du réseau qui a fait l'objet de cette étude, l'examen des cas d'accidents envisagés présente un réel intérêt, en raison de l'importance de la région industrielle desservie par ce réseau.

1. Principales causes d'accidents observés et moyen de les réduire. — 1° *Généralités*. — Il est impossible d'établir l'importance relative de chaque cause d'accident et de généraliser les observations faites qui dépendent des caractéristiques de chaque réseau et de nombreux facteurs variables. Néanmoins l'auteur donne, sous ces réserves, les chiffres suivants : la majorité des accidents n'ont entraîné qu'une interruption de quelques secondes (75 à 83 pour 100) ; parmi les causes d'accident ayant provoqué une interruption d'une durée plus grande, il faut citer les orages et les tempêtes (de 3 à 11 pour 100), les contacts des lignes de transmission avec les arbres (de 3 à 6 pour 100), les oiseaux (de 1 à 3 pour 100), les ruptures de poteaux (de 0,5 à 1,5 pour 100) et les causes diverses (de 3,5 à 9,5 pour 100).

2° *Insuffisance du matériel et vétusté*. — En dehors des causes directes d'accidents il en est d'autres moins immédiates qui sont notamment l'insuffisance du matériel employé et le vieillissement de celui-ci.

Parmi les organes que la vétusté éprouve le plus profondément, il faut citer tout d'abord les poteaux en bois ; aussi l'auteur préconise-t-il l'emploi exclusif des supports en béton armé adopté sur le réseau du Nord-Lumière. Pour les isolateurs, il semble bien qu'on ait parfois attribué au vieillissement des accidents provenant en réalité d'autres causes : l'altération des scellements ou la rouille des ferrures, par exemple. Enfin, un point important à signaler encore est l'entretien de l'huile des disjoncteurs appelés à fonctionner fréquemment.

3° *Fausses manœuvres*. — Il importe que dans les exploitations de réseaux complexes et étendus où interviennent un grand nombre d'agents, les consignes soient rigoureusement établies et leur exécution, strictement surveillée.

4° *Orages et tempêtes*. — Les orages sont la cause des perturbations les plus graves parce qu'elles affectent le plus souvent toute une région. L'étude des remèdes essayés est complexe et le nombre même des dispositifs proposés semble établir qu'aucun n'a résolu convenablement ce grave problème. Le nombre d'accidents causés par les tempêtes varie considérablement avec la solidité des lignes de transmission. La rupture des conducteurs est la plus dangereuse à cause de l'impossibilité d'éviter qu'un conducteur tombé ne reste sous tension.

5° *Arbres, oiseaux et divers*. — Pour réduire les accidents dus aux arbres, il y a lieu dans le tracé des lignes d'éviter leur voisinage. Il faudra bien souvent, quand on ne pourra obtenir les autorisations d'abattage ou qu'on ne voudra pas effectuer une surélévation locale de la ligne à cause des frais entraînés, se contenter d'élagages nombreux et d'un écartement suffisant entre conducteurs.

Les oiseaux, grands et petits peuvent être aussi la cause de nombreux accidents. Toutefois, ces derniers sont devenus très rares, les distances entre conducteurs étant suffisantes pour empêcher les oiseaux de petite taille, les plus nombreux, d'amorcer les arcs.

Enfin, il faut citer les accidents causés volontairement, le plus souvent sans esprit de sabotage, par le lancement d'objets métalliques sur les conducteurs, ou de pierres sur les isolateurs ; ceux produits par les chocs de véhicules contre des poteaux et ceux provenant du dépôt de matières conductrices sur les isolateurs au voisinage de certaines usines, principalement les cimenteries.

2. Conclusion. — On peut améliorer la qualité du service, aussi bien en diminuant l'étendue de la zone troublée par chaque accident et la durée des troubles qu'en réduisant le nombre total de ceux-ci. On cherchera une amélioration dans cette voie par l'emploi de dispositifs de sélection efficaces, d'une part, et, d'autre part, par l'utilisation des méthodes (réenclenchements automatiques, bouclages, etc.) qui permettent de réalimenter rapidement la zone atteinte.

VII. **L'Association espagnole d'Eclairagisme aux expositions de Barcelone et de Séville**. Rapport de la Camara official de Productores y Distribuidores de Electricidad. — Ce rapport, de neuf pages de texte avec dix figures dans le texte, concerne l'initiative prise par les fabricants de lampes de concert avec

les plus importantes sociétés productrices et distributrices d'énergie électrique, pour organiser une section se rapportant à l'éclairagisme aux expositions de Barcelone et de Séville.

On y trouve les différentes réalisations en vue des démonstrations devant satisfaire à la fois les techniciens et le public en général : par exemple, la mise en évidence du mauvais éclairage obtenu par des lampes nues à bout de fil ou placées dans des rampes latérales ou la démonstration de l'influence de la direction de la lumière selon les objets exposés.

VIII. **Expérience acquise aux Pays-Bas avec le chauffage électrique des écoles.** Rapport présenté par le Bureau central de l'Association de Directeurs d'Entreprises électriques des Pays-Bas. — Dans ce rapport de neuf pages de texte, avec cinq figures, les auteurs exposent les résultats satisfaisants obtenus dans l'emploi du chauffage électrique dont les essais ont commencé en 1922, et en montrent les caractéristiques.

1. Comparaison entre les deux modes de chauffage. — Dans le chauffage des écoles par poêles à charbon la chaleur se concentre au plafond ; de ce fait les enfants sont exposés à un courant d'air froid longeant le plancher et allant vers le poêle.

Pour placer les enfants dans un courant ascendant d'air chaud, la solution idéale est le chauffage électrique de tout le plancher. Toutefois, en raison du prix exagéré d'une telle installation, on a procédé à des essais en utilisant des paillassons chauffés électriquement et disposés sous les bancs. Les salles de classes dans lesquelles ces épreuves eurent lieu mesuraient environ 6,10 m × 7,50 m × 5,00 m, ce qui correspond à un volume de 225 m³. Dans le cas considéré, la classe contenait 42 écoliers. La puissance de l'installation de chauffage était la suivante : 21 paillassons à 200 w, soit 4,2 kw et 1 radiateur à 2,6 kw, soit au total pour le chauffage normal 6,8 kw. De plus, il était tenu en réserve : un radiateur à 2,6 kw et deux radiateurs à 1,3 kw, ce qui faisait un total général de 10,7 kw.

La comparaison des consommations d'énergie électrique et de combustible put s'effectuer aisément grâce à la présence à proximité de cette école chauffée électriquement d'une seconde école de construction identique chauffée à l'aide de poêles à coke, ce qui permit de relever les résultats consignés au tableau I relativement à l'année 1925.

L'interprétation de ces résultats montre que l'école chauffée au coke consomme une quantité de chaleur égale à 5,7 fois celle consommée par l'école chauffée à l'électricité. Cette grande différence est due, d'une part, au mauvais rendement des poêles à coke et, d'autre part, au fait qu'avec ces derniers ce sont les couches d'air supérieures qui s'échauffent tout d'abord, alors que les paillassons donnent immédiatement une température agréable dans les couches d'air inférieures et que le rayonnement des radiateurs est horizontal.

La répartition des températures dans les deux cas

Tableau I. — *Comparaison entre les consommations d'énergie électrique et de combustible.*

Mois	École chauffée à l'électricité (kw-h)	École chauffée au coke (kg de coke)
Janvier	2 900	1 500
Février	3 900	2 200
Mars	4 470	2 700
Avril	800	1 100
Octobre	1 200	1 350
Novembre	3 850	2 550
Décembre	4 500	2 550

soigneusement relevée par des couples thermoélectriques et consignée dans des graphiques, confirme nettement les raisons données plus haut.

Cependant les frais d'installation élevés ont fait abandonner le système de chauffage par paillassons. A Arnhem on employa soit des radiateurs, soit des poêles électriques à convection de chaleur. Mais à cause des effets d'écran exercés par les bancs on abandonna l'emploi de radiateurs pour celui de poêles électriques à convection de chaleur.

A Amsterdam, on a développé récemment un troisième système à l'aide de radiateurs placés au plafond. Ceux-ci ont des réflecteurs en forme de longs cylindres paraboliques, sous lesquels les éléments de chauffage sont placés de façon que la radiation maximum se concentre sur les intervalles entre les rangées de bancs, tandis que la radiation sur les bancs mêmes est moindre. Pour une consommation d'énergie identique, ce système présente l'avantage sur les précédents de diminuer des frais d'installation et d'éviter le contact accidentel des enfants avec les poêles, ce qui réduit au minimum les dangers d'électrocution et d'incendie.

2. Conclusion. — En résumé, on arrive aux constatations suivantes :

a) Pour un tarif de 3,25 à 3,5 cents par kilowatt-heure les frais d'énergie pour le chauffage électrique des écoles ne sont pas supérieurs à ceux du chauffage au gaz ou au charbon ; *b*) les frais d'installation pour le chauffage électrique des écoles sont, en général, bien moindres que ceux pour le chauffage au gaz ou le chauffage central ; il en est de même des frais d'entretien et de service. Seule, l'installation de poêles à charbon est meilleur marché que celle du chauffage électrique ; mais dans la plupart des villes néerlandaises, on est d'avis que, pour le chauffage des écoles, l'emploi de poêles à charbon est désormais suranné, notamment à cause de la répartition inégale de la chaleur, du courant d'air froid le long du plancher et du développement de la poussière et de gaz de combustion ; *c*) bien qu'il faille convenir que la ventilation est moins bonne dans les salles chauffées à l'électricité, les statistiques prouvent que les enfants sont dans de meilleures conditions d'hygiène dans les salles chauffées à l'électricité, en raison de l'absence de gaz de combustion ;

d) le chauffage électrique des écoles a rencontré une grande faveur aux Pays-Bas, surtout à cause des tarifs favorables, étant donné que ce chauffage reste toujours en dehors des heures de pointe de charge, les heures de classe normales étant de 9 heures à midi et de 14 à 16 heures.

IX. **Les sociétés d'exploitation de véhicules électriques, leur but, leur activité, les résultats obtenus.** Rapport de Marc VINCENT, ingénieur des Arts et Manufactures, administrateur délégué de la Société lyonnaise pour l'Exploitation des Véhicules électriques et de la Société alsacienne des Véhicules électriques. — Dans ce rapport, de onze pages de texte avec dix figures, l'auteur, après avoir rappelé les difficultés rencontrées au début de la traction électrique par accumulateurs, en expose les réalisations actuelles et les possibilités d'avenir.

1. INTRODUCTION. — A la veille de la guerre, le véhicule automobile électrique pouvait être considéré comme à peu près disparu des préoccupations de l'industrie automobile française. Les nécessités de recharge, la sujétion des soins à donner aux batteries, l'emploi d'accumulateurs à grande capacité massique de durée éphémère et d'entretien coûteux, avait éliminé la voiture électrique, surtout le jour où la souplesse, le silence et la propreté ne furent plus son apanage incontesté.

Cependant, dans le domaine des transports industriels et commerciaux se trouve un champ d'action qu'il convient de ne pas dédaigner. C'est d'ailleurs ce qui a été compris aux Etats-Unis, en Allemagne, en Angleterre et en Italie. Les résultats constatés à l'étranger ont amené les constructeurs français à des études et à des essais d'où il résulte que l'utilisation des automobiles électriques est indiquée partout où l'on a à assurer un service régulier, effectué à une vitesse modérée avec des arrêts fréquents.

Pour faire passer ces conceptions théoriques dans le domaine pratique il restait à réaliser, d'une part, des châssis électriques de construction française adaptés à leur emploi et d'un prix abordable; et, d'autre part, des accumulateurs de traction de construction également française, répondant aux conditions de robustesse et d'économie nécessitées par une semblable exploitation.

En France, les constructeurs de châssis ont fait dans ce sens depuis moins de dix ans des progrès considérables. Deux conceptions se sont développées parallèlement quant à la technique de la voiture électrique.

Pour certains constructeurs, il suffit d'utiliser au mieux un châssis d'automobile à essence, pour d'autres il faut construire de toutes pièces un châssis adapté aux exigences nouvelles.

2. LES SOCIÉTÉS D'EXPLOITATION. — Devant des résultats commerciaux peu encourageants, les sociétés de distribution de la région lyonnaise entreprirent de proposer à l'usager éventuel la vente, non d'un camion électrique et d'une batterie d'accumulateurs, mais celle du « transport électrique »; d'où la création de la Société lyonnaise pour l'Exploitation des Véhicules électriques.

Il fallait surtout établir un prix de vente du transport par véhicule électrique comparable au prix de revient des autres modes de transport. Le problème ainsi posé paraît simple : dans la pratique, il est beaucoup plus complexe. Tout d'abord, il est très rare de rencontrer un usager ayant une notion exacte du prix de revient de ses transports. A cette première difficulté d'ordre commercial, qui est d'ailleurs souvent résolue pourvu que l'usager possible veuille bien accepter de retrouver dans les éléments épars de sa comptabilité les différents facteurs de son prix de revient réels, viennent s'ajouter d'autres difficultés qui naissent de l'organisation même des exploitations dans lesquelles le véhicule électrique tend à s'introduire.

Ces difficultés, et bien d'autres, font croire que le développement de la traction par véhicules électriques restera en France chose de longue haleine, les sociétés d'exploitation gardant le mérite d'avoir rendu possible ce qui était incertain et de précipiter très sensiblement le rythme des réalisations.

3. COMMENT ORGANISER UNE SOCIÉTÉ D'EXPLOITATION? — Quoique le but d'une telle société soit de « vendre du transport électrique », elle ne doit pas se constituer sous forme de société de camionnage, mais se borner exclusivement à la location des véhicules.

La sécurité de la rémunération des capitaux demande que cette location se fasse par contrats conclus pour une durée assez longue. Cette rémunération peut être fixée, soit par un forfait mensuel donnant droit au parcours d'un certain nombre de kilomètres, soit par une prime fixe journalière, à laquelle vient s'ajouter une prime par kilomètre parcouru. Elle doit être calculée au plus bas prix possible et l'auteur estime qu'il ne serait pas indiqué d'en établir le taux, non pas sur le juste prix de revient, mais d'après le prix du matériel concurrent, réduit dans une proportion jugée arbitrairement satisfaisante. Il faut laisser au véhicule électrique sa pleine économie. L'expérience montre d'ailleurs que, tous frais généraux compris et en gardant un bénéfice raisonnable et nécessaire, on peut arriver à un prix de location inférieur même au prix de revient qui serait obtenu par un usager isolé.

Economie maximum, absence de risques, annulation ou réduction des immobilisations de capitaux, tels sont les avantages que les sociétés d'exploitation apportent aux usagers, sans oublier la parfaite régularité de service.

4. RÉSULTATS OBTENUS. — La progression totalisée des kilomètres parcourus par les électrobus du Service municipal de Lyon et les camions de la Société lyonnaise pour l'Exploitation des Véhicules électriques est telle que de 365 000 km environ en 1927, ce nombre passera, en 1930, à plus d'un million. Une progression

analogue a évidemment été constatée pour la consommation d'énergie qui s'est élevée de 585 082 kw-h en 1927 à 1 500 000 kw-h (chiffre prévu) en 1930.

Ces résultats, qui montrent l'effort accompli en trois ans, soulignent que, si la traction électrique n'a pas encore atteint le développement qu'elle est en droit d'espérer, elle est au moins sortie de la période des débuts.

X. **Les tendances actuelles du développement de la consommation et la propagande.** Rapport de L. Sartre, ingénieur en chef attaché à la Direction générale de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité. — L'auteur de ce rapport de onze pages de texte, avec quatre figures et deux tableaux, montre la nécessité de l'accroissement de la consommation d'électricité et de l'intensification de la propagande en sa faveur. En effet, pour la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité, en particulier, le nombre des abonnés nouveaux, après avoir atteint son maximum en 1925, a commencé à décroître, alors que la quantité d'énergie fournie augmentait, grâce aux multiples applications nouvelles de l'électricité : chauffage par accumulation, cuisine électrique, éclairage rationnel, etc.

Pour l'année 1929, pour une consommation totale d'énergie de 580 millions de kilowatts-heures, ces nouvelles applications en ont absorbé 20 millions, soit près de 4 pour 100. D'autre part, pour un accroissement de consommation de 65 millions de kilowatts-heures, la proportion afférente aux applications précitées était de 14 pour 100. De tels résultats justifient la recherche de méthodes susceptibles d'accélérer le développement des applications nouvelles.

1. La propagande. — Les moyens à employer dans ce but peuvent se classer en trois grandes sections : publicité générale; informations et essais; développement des installations collectives d'immeubles et facilités données pour les installations particulières.

1° *Publicité générale.* — Le caractère de cette publicité, faite dans les journaux ou revues à large diffusion ou par le cinéma, s'adresse à tout le grand public. Elle ne peut donc saisir l'opinion que de généralités relatives à l'électricité ou lui rappeler des appareils d'utilisation banale.

2° *Informations et essais.* — A l'heure actuelle il importe surtout de renseigner exactement le public et de lui mettre en main à l'essai les appareils qui peuvent l'intéresser. Dans cet ordre d'idées il a été réalisé dans les services centraux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité un bureau d'ingénieurs spécialisés dans les diverses techniques des applications. Ceux-ci préparent des monographies destinées à chaque catégorie de clientèle, font des essais gratuits chez les abonnés et enfin se tiennent en relations avec les syndicats compétents. Cette compagnie a également créé pour le grand public dix stands de démonstration.

3° *Développement des installations collectives d'immeubles; facilités données pour des installations particulières; relations avec les constructeurs.* — Les canalisations collectives d'immeubles, créées il y a vingt ou trente ans, alors que l'emploi de l'électricité était beaucoup plus restreint, sont aujourd'hui tout à fait insuffisantes pour les usages nouveaux. Depuis 1927, les règlements techniques de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité prévoient leurs colonnes montantes pour une puissance consommée égale à 25 w par mètre carré de superficie. Sur ces 25 w, 8 w sont prévus pour l'éclairage. Cette compagnie accepte aussi de construire elle-même des colonnes montantes dans les immeubles, bien que leur prix de revient soit très élevé, à cause des possibilités d'avenir. D'autre part, elle reste en contact avec les architectes et les installateurs qu'elle tient au courant de ses réalisations et étudie avec eux les questions qui sont de leur compétence commune.

2. Tarif de nuit. — Dans le but de favoriser encore plus le développement envisagé, une tarification spéciale est actuellement en vigueur (depuis le 1er janvier 1927) pour le courant utilisé pour usages autres que l'éclairage et consommé principalement la nuit (et à l'heure du déjeuner). Cette tarification répartit la consommation en trois postes : nuit, jour, pointe, suivant l'heure à laquelle se fait la consommation (1).

Elle convient particulièrement à la cuisine, au chauffage de l'eau par accumulation, aux fours de boulangers, aux usages frigorifiques, à la charge des accumulateurs de traction, etc., et, en général, à tous les usages dont la consommation de pointe est très faible.

XI. **La propagande pour l'application de l'électricité en Pologne.** Rapport de Czeslaw Zakiewicz, ingénieur. — Dans ce rapport de dix pages de texte, l'auteur, après avoir rappelé les conditions exceptionnelles dans lesquelles s'était trouvée la Pologne au lendemain de la guerre et les difficultés qui ont longtemps retardé les travaux d'électrification du pays, traite des tendances actuelles de la propagande qui s'y trouve exercée.

1. Organisation de la propagande. Ses buts et tendances. — C'est seulement vers le milieu de l'année 1927 que l'idée d'organiser une propagande rationnelle gagna l'Union des Usines génératrices électriques polonaises et l'amena à créer une section de propagande. Pour que cette tentative ne restât pas inefficace, il fallait en outre amener les sociétés productrices à entreprendre les travaux suivants : préparation de tarifs appropriés; organisation d'une aide technique et financière aux consommateurs.

Malgré tout, les conditions économiques restent très

(1) L. Cherbau; Nouvelle tarification de l'énergie électrique à Paris dite « tarif de nuit » en vue de développer les consommations « hors pointe » pour usages autres que l'éclairage. *Revue générale de l'Electricité*, 14 mai 1927, t. XXI, p. 799-801.

difficiles en Pologne et sont le plus grand obstacle à un développement intensif de la consommation.

2. Tarifs. — L'importante question des tarifs fait l'objet d'une étude attentive, comme dans tous les pays où l'on veut développer la consommation d'énergie électrique. D'après l'auteur, un système de tarification uniforme pour tout le pays ne peut donner de bons résultats. D'ailleurs, en Pologne, on se sert, comme base pour l'établissement de la tarification, d'un tarif modèle, les diverses sociétés de distribution gardant toute liberté au sujet de son application sur le terrain de la concession, sous réserve d'un chiffre maximum à ne pas dépasser.

L'auteur donne divers exemples des tarifs les plus caractéristiques et les résultats obtenus qu'il est toutefois difficile de juger puisqu'on se trouve encore en période d'essai.

3. Organisation d'une aide technique et financière. — Outre l'étude de tarifs rationnels, il faut encore organiser une aide technique aux consommateurs pour leur garantir la bonne qualité des appareils recommandés et une aide financière pour leur achat et leur installation. L'action développée dans ce domaine en Pologne est exposée par l'auteur, à l'aide de quelques exemples qui, pour les moyens adoptés, ne diffèrent pas essentiellement de ceux indiqués dans les rapports précédents. Quant aux résultats obtenus, ils sont des plus encourageants.

XII. **L'électrification rurale en Belgique**. Rapport de P. Sohie, ingénieur à l'Union des Exploitations électriques en Belgique. — Au cours de ce rapport, de trois pages de texte, l'auteur indique, que sur un total de 2677 communes il n'en existait au 1er janvier 1930 que 210 qui n'étaient pas encore desservies; ces dernières étant d'ailleurs situées dans des régions rurales beaucoup moins peuplées que les autres. La consommation totale annuelle d'énergie atteint 500 kw-h par tête d'habitant, en tenant compte de l'énergie produite par les industries pour leurs propres besoins.

Actuellement, la distribution d'électricité concédée par les communes est octroyée conformément à un cahier des charges type déterminé par l'arrêté royal du 11 février 1927, dont l'article 17 oblige le concessionnaire à étendre son réseau si on lui garantit une certaine consommation par mètre courant de canalisation. Aussi dans un avenir rapproché, tout habitant de commune desservie pourra se raccorder au réseau sans frais excessifs s'il habite assez près d'une agglomération.

D'après les statistiques que considère l'auteur pour six régions rurales belges, la situation actuelle est la suivante : la consommation annuelle par tête d'habitant varie de 8 à 15 kw-h pour l'éclairage et de 3 à 6 kw-h pour la force motrice, soit au total de 11 à 21 kw-h, ceci en écartant les cas exceptionnels. Dans ces réseaux, on compte environ un abonné pour six habitants.

Actuellement, on utilise pour la distribution en basse tension 317 km de canalisation, et 85 pour 100 du nombre d'habitants sont raccordés aux réseaux; 12,5 pour 100 pourraient se raccorder très aisément s'ils le désiraient, les circuits de distribution passant près des bâtiments à desservir. Quant aux 2,5 pour 100 restants, ils demanderaient, pour être desservis, la construction de lignes à basse tension d'une longueur de 79 km et de plusieurs cabines de transformation nouvelles : la dépense à engager pour l'installation de ces 79 km est estimée à 25 pour 100 environ du capital déjà investi dans le réseau, d'où la nécessité d'une immobilisation supplémentaire de 25 pour 100 pour ne desservir que 2,5 pour 100 du capital investi.

L'étonnant développement des réseaux de distribution répond certainement à un besoin économique: jusqu'à ce jour il s'est fait en Belgique sans aide financière de l'Etat. Avant 1925, époque de la première loi belge relative aux distributions d'énergie électrique, les réseaux subissaient de fréquentes extensions; les concessionnaires et les communes se mettaient rapidement d'accord pour étendre les réseaux dans certaines parties non encore desservies, moyennant certains avantages parmi lesquels figurait généralement une prolongation de concession.

La loi du 10 mars 1925 fit cesser toutes négociations entre les communes et leurs concessionnaires sur cette base, car elle interdisait les prorogations de concession, sauf recours à une adjudication publique.

Afin de permettre à nouveau aux communes de négocier avec les concessionnaires, la loi précédente fut complétée par celle du 27 juillet 1926 qui, après avis du Comité permanent de l'Electricité, permet au Gouvernement d'autoriser, à titre exceptionnel et transitoire, certaines modifications aux contrats de concession en cours, en dispensant les parties d'observer, en l'espèce, tout ou partie des formalités prescrites; toutefois, en vertu de cette loi, les concessions ne pouvaient être prorogées de plus de cinq années. Cette loi est malheureusement venue à échéance le 31 décembre 1929. Le rapporteur émet l'avis que de nouvelles mesures législatives doivent être prises favorisant le développement des écarts des communes dont les agglomérations importantes seules ont été électrifiées. Une simple prorogation de la loi de 1926 suffirait pour donner satisfaction aux intéressés dans un grand nombre de cas. — R. G.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Quelques aspects de la théorie quantique des spectres lumineux

Depuis l'époque déjà lointaine (1901) où Planck émit sa célèbre hypothèse du quantum d'énergie lumineuse, la théorie des spectres a subi de profonds bouleversements, en même temps qu'un développement extrêmement rapide, surtout à la suite d'un important travail par lequel N. Bohr (1913) introduisait cette notion alors assez récente de quantum dans le mécanisme des phénomènes intraatomiques. Le sujet est encore en pleine évolution, et il en résulte nécessairement une succession de points de vue, et même de notations, qui déroute quelque peu le lecteur non spécialisé. Dans l'article qui suit, l'auteur se borne à développer quelques aspects particuliers et caractéristiques de la théorie quantique des spectres lumineux, afin de se limiter, dans un aussi vaste sujet, à l'essentiel. Son but est de mettre le lecteur à même de comprendre le langage assez particulier dont font actuellement usage les spectroscopistes et de suivre plus aisément les développements ultérieurs de la théorie. Après les notions préliminaires indispensables, il décrit la structure de l'atome, puis esquisse le mécanisme de l'émission atomique et les règles, imposées par l'expérience, dont dépend cette émission. Ces généralités sont alors illustrées et précisées par l'étude sommaire de la théorie du spectre de l'hydrogène. Enfin, dans une deuxième partie sont exposées les grandes lignes de la théorie des spectres de bandes (spectres moléculaires), dans son état actuel.

Introduction

En 1885, Balmer reconnut dans le spectre de l'hydrogène une remarquable régularité, qui fut le point de départ de la notion fondamentale de série spectrale. Depuis cette époque, en raisonnant par analogie, et s'inspirant de la forme mathématique sous laquelle peut s'exprimer la régularité du spectre de l'hydrogène, les spectroscopistes décelèrent des séries dans les spectres des éléments les plus divers et amassèrent ainsi un matériel considérable pour les recherches théoriques.

Cependant, pendant de longues années, les physiciens ne découvrirent aucun fondement valable d'une théorie des séries spectrales, et ce n'est qu'à partir de 1913 que, sous l'impulsion d'un important mémoire de Bohr, les causes premières dont dépend l'émission d'un atome ou d'une molécule apparurent progressivement. Ce progrès résulta de l'extension à l'atome et à la molécule de la notion de quantum, introduite par Planck (1901) pour rendre compte des lois expérimentales régissant l'émission du corps noir.

L'hypothèse quantique s'adapte si bien à la théorie des spectres, pour laquelle toutes les autres hypothèses avaient lamentablement échoué, qu'il semble maintenant étonnant que les chercheurs n'y aient pas songé plus tôt. En fait, la théorie des spectres subit après 1913 un développement extrêmement rapide; aujourd'hui encore, elle est en pleine évolution, donc bien loin d'avoir acquis une forme définitive. Afin d'en pouvoir suivre les développements ultérieurs, il est indispensable d'avoir des notions nettes sur l'état actuel de la théorie, sur le mode de raisonnement et le système de symboles par lesquels elle s'exprime. Dans ce but, nous passerons en revue quelques-uns de ses aspects les plus généraux et les plus caractéristiques.

1. **Obtention et classification des spectres lumineux**. — Une source de lumière peut être étudiée à deux points de vue en quelque manière opposés : On se propose d'examiner la composition de la lumière qu'elle rayonne ; ou, au contraire, de savoir dans quelle mesure cette source livre passage aux radiations qu'elle reçoit. Le système optique analyseur est dans les deux cas le même : spectroscope ou spectrographe, selon que l'observation est oculaire ou photographique. Le résultat de l'analyse, ou spectre lumineux, s'appelle respectivement « spectre d'émission », ou « spectre d'absorption » de la source étudiée. Les relations très étroites existant entre ces deux sortes de spectres font que, en dépit de leurs modes d'obtention différents, il n'y a pas lieu d'en séparer l'étude théorique.

On peut envisager la classification des spectres à un autre point de vue, et les traités élémentaires subdivisent les spectres, tant d'émission que d'absorption, en *continus* et *discontinus*. Nous nous occupons exclusivement ici des spectres discontinus. Pour obtenir de tels spectres, le procédé très général consiste à appliquer aux divers corps, pris ou portés préalablement à l'état de gaz ou de vapeur, une densité d'énergie suffisante pour les transformer en sources de lumière, c'est-à-dire les porter à une incandescence plus ou moins vive.

Les modes d'excitation nécessaires pour arriver à ce résultat sont très variés. On peut porter un gaz ou une vapeur à l'incandescence :

1° Par simple élévation de température; c'est ainsi

que A.-S. King, dans une suite d'importants travaux, a pu décrire les spectres d'émission et d'absorption purement thermiques des vapeurs d'un grand nombre de métaux. Dans ce but, le métal est placé dans un tube de graphite où règne le vide et porté, par exemple, à 2 000°C, par passage d'un courant électrique intense;

2° Par réaction chimique; l'émission ou l'absorption d'une flamme, comme celle d'un bec Bunsen, sont dues à une excitation des gaz ou vapeurs qui s'y trouvent par la réaction chimique de combustion dont elle est le siège. On a ce qu'on appelle un « spectre de flamme ».

L'excitation par l'azote actif, très étudiée dans ces dernières années, peut être de nature chimique;

3° Par éclairement; un gaz ou une vapeur, tout d'abord obscurs, s'illuminent, en général, sous l'action de radiations convenablement choisies. On obtient ainsi des spectres d'émission désignés, suivant les cas, comme « spectres de fluorescence » ou « spectres de résonance »;

4° Electriquement; l'apport d'énergie électrique se fait par divers procédés : a, décharge dans les gaz ou vapeurs à basse pression; b, étincelle entre électrodes métalliques; c, arc entre électrodes métalliques ou entre électrodes de charbon, dont l'une contient un peu du corps (solide) dont on veut étudier le spectre (après vaporisation). C'est ainsi que l'on obtient les « spectres d'arc » et les « spectres d'étincelle », se présentant avec des caractères en rapport avec l'énergie d'excitation, et que nous étudierons plus loin.

II. **Structure des spectres discontinus.** — On sait que le spectre lumineux est formé d'une succession d'images de la fente du spectroscope. En principe, le mot discontinu implique que ces images sont séparées. En fait, les spectres obtenus avec les premiers spectroscopes, de faible dispersion et de faible pouvoir séparateur, se présentaient avec un aspect en général assez différent. L'on y distinguait des portions brillantes plus ou moins étroites, et présentant parfois les signes d'une structure complexe, séparées par des espaces relativement obscurs. Les portions lumineuses, comparables à la « raie de lumière » qui traverse l'entre-bâillement d'une porte éclairée, furent désignées du nom général et assez vague de « raies ».

Par la suite, cependant, la technique se perfectionnant, l'on se trouva amené à établir une distinction entre ces éléments spectraux. En effet, sous dispersion et pouvoir séparateur suffisants, certaines « raies » se révélèrent comme des groupes serrés de véritables images de la fente du spectroscope; d'autres « raies » ne firent que s'étaler plus ou moins largement, selon la dispersion réalisée.

Avec la grande majorité des auteurs du monde entier, nous appellerons dans ce qui va suivre *ligne* tout élément du spectre assimilable, au moins en première approximation, à une image de la fente, et *bande* tout élément résultant de l'étalement d'une ancienne raie (1).

(1) En France, quelques auteurs utilisent encore le mot ambigu de raie dans le sens de ligne. On prétend que le mot

Cependant, les bandes, examinées avec des instruments plus perfectionnés, se laissent fréquemment résoudre à leur tour en systèmes de lignes voisines et réparties avec une régularité saisissante et aisément reconnaissable. On a alors ce qu'on appelle les « bandes à fine structure », qui sont les plus intéressantes et que nous étudierons plus loin. Enfin, pour un pouvoir séparateur et une dispersion encore accrus, les lignes isolées, ou même les lignes de bandes peuvent se révéler comme formées de plusieurs composantes extrêmement fines et serrées; ces lignes complexes s'appellent des *lignes à fine structure*.

III. **Symboles et unités.** — En résumé, le plus souvent, les spectres discontinus se résolvent en lignes, c'est-à-dire en images successives de la fente, brillantes sur fond noir dans le cas du spectre d'émission, noires sur fond éclairé pour le spectre d'absorption. En général, chaque ligne est représentée par la longueur d'onde λ de la radiation correspondant, non pas à la ligne observée (1), mais à son axe géométrique, axe dont elle est la représentation matérielle (voir à ce sujet la note placée au bas de la première colonne de cette page.

Les longueurs d'onde dépendent, on le sait, du milieu et c'est là l'inconvénient de leur emploi. Les résultats des mesures sont, en général, rapportés à l'air sec, pris au niveau du sol, à la température de 15°C et sous la pression atmosphérique normale. Ils sont exprimés en angstroms, l'angström valant 10^{-8} cm.

Il est désirable de caractériser les lignes spectrales d'une façon plus absolue. Dans ce but, connaissant l'indice de réfraction de l'air pris dans les conditions ci-dessus indiquées, il est aisé de déduire des valeurs λ de la longueur d'onde dans l'air, les valeurs correspondantes λ_0 de la longueur d'onde dans le vide.

Mais la théorie des quanta nous montrera que la grandeur qui s'introduit le plus naturellement pour la description des spectres est, non la longueur d'onde, mais la fréquence ν des diverses radiations. La fréquence s'exprime, par définition, en nombre de périodes par seconde; cette grandeur a, par ailleurs, l'avantage d'être entièrement caractéristique, la fréquence étant invariante par rapport au milieu.

Le passage de la longueur d'onde à la fréquence est immédiat, en vertu des relations

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu};$$

ligne ne devrait s'appliquer qu'à un élément sans épaisseur, donc inobservable; mais on oublie que l'acception usuelle de ce mot est représentative de son acception théorique. Une ligne géométrique est représentée par un trait plus ou moins large dont elle occupe l'axe; ce trait s'appelle par extension une ligne. On dit une ligne de chemin de fer, et non une raie, bien que la voie simple ait 1,44 m de largeur : on veut parler de l'axe de la voie.

(1) Celle-ci comporte en toute rigueur l'ensemble de radiations de longueurs d'onde comprises entre $\lambda - \frac{\Delta\lambda}{2}$ et $\lambda + \frac{\Delta\lambda}{2}$.

d'où l'on tire $\nu = \frac{c}{\lambda}$

(c étant la vitesse de la lumière dans le milieu pour lequel la longueur d'onde est λ) ou encore

$$\lambda_0 = c_0 T = \frac{c_0}{\nu};$$

d'où l'on tire

$$\nu = \frac{c_0}{\lambda_0}$$

c_0 étant la vitesse de la lumière dans le vide.

Il est à noter que ν est proportionnel à $\frac{1}{\lambda_0}$, puisque c_0 est une constante, que, d'autre part, les mesures de longueurs d'onde sont considérablement plus précises que la mesure de la vitesse de la lumière, de sorte qu'il est plus avantageux, dans l'état actuel, de retenir la quantité $\frac{1}{\lambda_0}$ que la fréquence ν, pour la description des spectres. Cette quantité n'est plus une fréquence, mais un nombre d'ondes par centimètre; cependant, de nombreux auteurs la désignent du nom de fréquence, et l'on a conservé le symbole ν pour la représenter. L'ambiguïté est impossible, car les fréquences sont c_0, voisin de 3×10^{10}, fois plus grandes que les nombres d'ondes par centimètre.

IV. **Origine des spectres de lignes et des spectres de bandes.** — Il est aujourd'hui admis, à la suite d'un nombre considérable de travaux, que les spectres de lignes et les spectres de bandes relèvent d'origines essentiellement différentes.

Les spectres de lignes sont émis par l'atome libre, ce sont des « spectres atomiques ». A chaque atome, dans un état donné d'ionisation, correspond un spectre d'émission (ou d'absorption) déterminé, et qui le caractérise (principe de l'analyse spectrale),

On a pu, du reste, préciser, et il est bien établi, que le spectre d'arc est émis par l'atome neutre, tandis que le spectre d'étincelle correspond à l'atome à divers degrés d'ionisation.

Les centres d'émission des spectres de bandes sont, au contraire, des molécules diatomiques, triatomiques,... etc. Ceci correspond notamment au fait que les spectres de bandes résultent toujours d'excitations plus douces, plus ménagées que les spectres de lignes et permettant aux molécules de subsister tout au moins un temps assez long pour que leur émission soit observable : les spectres de bandes sont des « spectres moléculaires ».

Il convient de noter, d'autre part, qu'une molécule peut n'avoir dans le gaz incandescent qu'une existence très fugitive, tout en produisant un spectre, à condition qu'il en existe à chaque instant un nombre suffisant, qui seront détruites pour être aussitôt remplacées par d'autres. C'est ce qui explique que l'on a été conduit à attribuer certains spectres de bandes à des molécules n'existant pas dans les conditions usuelles, telles que AlO, Hg H, He^2, etc. Ce fait correspond à l'extrême sensibilité des méthodes spectroscopiques pour déceler des traces infimes de matière.

PREMIÈRE PARTIE : **Théorie des spectres atomiques**

V. **Classification périodique des éléments.** — Des travaux de J.-J. Thomson puis de Rutherford sont résultées les premières idées nettes sur la structure probable de l'atome. Chaque atome, caractérisé par son numéro atomique Z, est constitué par un noyau portant la charge électrique $+Ze$, autour duquel gravitent Z électrons de charge totale $-Ze$, e étant la valeur absolue de la charge d'un électron.

Il s'agit de préciser comment sont répartis ces Z électrons. La classification périodique des éléments constitue à cet égard un guide précieux. Elle est, on le sait, basée sur la mémorable découverte de Mendeleïeff (1870) que, si l'on range les éléments dans l'ordre des masses atomiques croissantes, l'on retrouve périodiquement des propriétés physiques et chimiques déjà rencontrées chez des éléments précédents. Ceci a permis de classer les éléments en périodes et en groupes, dont le tableau I donne un aperçu schématique.

Dans ce tableau, le pointillé de certaines cases représente des éléments non mentionnés (pour abréger le tableau); les cases couvertes de hachures sont celles dont on sait qu'il n'y a place pour aucun élément; au contraire, celles contenant un trait entre crochets [—] correspondent à des éléments dont on est sûr qu'ils existent, mais qui n'ont pas encore été découverts (1); il n'en reste d'ailleurs plus que deux de cette sorte, l'ékaiode, vers la fin de la sixième période et l'ékacésium, au début de la septième.

On remarque, de plus, que les périodes sont de longueurs inégales; les nombres d'éléments des périodes successives sont donnés par ce tableau :

Numéros des périodes	Nombre d'éléments
Première.....	2
Deuxième.....	8
Troisième.....	
Quatrième.....	18
Cinquième.....	
Sixième.....	32

Il est aisé de vérifier que si n représente les nombres entiers successifs, le nombre d'éléments d'une période est de la forme $2n^2$. L'exception présentée par la sep-

(1) La certitude à cet égard provient du mode de numérotage des atomes, qui est imposé par les relations entre les spectres des rayons X qu'ils émettent (loi de Moseley).

TABLEAU I. — *Schéma abrégé de la classification périodique des éléments.*

GROUPES →	1	2	3	4	5	6	7	8
PÉRIODES ↓								
1	H							He
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	A
4	K Cu	Ca Zn	Sc Ga	Ti Ge	V As	Cr Se	Br	Kr
5	Rb Ag	Sr Cd	.....	.....	.....	.....	I	Xe
6	Cs Tu Au	Ba	.....	.....	.....	.....	[—]	Nt
7	[—]	Ra	.....	.....	.....	U		

tième période, qui est très courte, n'est qu'apparente ; en réalité, les atomes lourds, du radium à l'uranium, sont tous instables (1), et il est présumable que les éléments qui suivent l'uranium n'ont qu'une existence éphémère, de sorte que la portion connue de la septième période en est une fraction très incomplète. Le numéro atomique *Z* auquel il a été fait allusion plus haut est le numéro d'ordre de chaque atome dans ce tableau (2).

Enfin, on reconnaît que les groupes du tableau renferment, en général, des éléments de propriétés chimiques voisines, de véritables « familles naturelles » : groupe 1, des alcalins ; groupe 2, des alcalino-terreux ; groupe 3, des éléments trivalents, etc. ; groupe 7, des halogènes ; groupe 8, des gaz rares, de valence nulle, c'est-à-dire dépourvus d'affinités chimiques pour tout autre élément.

Voyons maintenant quelles relations existent entre la classification périodique et les spectres de lignes. Cette relation est indéniable et elle correspond, ainsi que nous le verrons plus loin, au fait que l'émission (ou l'absorption) relève, dans le domaine du spectre optique, des électrons extérieurs de l'atome, comme c'est le cas des propriétés chimiques.

(1) Ils se désintègrent spontanément (radioactivité).

(2) Les spectres de rayons X des divers éléments permettent d'assigner à chacun d'eux un numéro atomique parfaitement déterminé.

Par exemple, si l'on considère le spectre d'arc, qui est le plus simple des spectres atomiques, on constate que les alcalins (groupe 1) fournissent un spectre de lignes doubles (doublets), les alcalino-terreux (groupe 2) un spectre de lignes triples (triplets), les éléments trivalents (groupe 3), un système de doublets et un système de quadruplets. Ainsi, d'une colonne à l'autre du tableau, les multiplicités des lignes changent de parité ; c'est la *règle d'alternance*.

VI. **Structure de l'atome.** — L'idée fondamentale de Bohr fut d'établir un lien entre la théorie des quanta de Planck, le schéma de structure atomique de Rutherford et le tableau périodique des éléments.

Bohr montra d'abord que, si l'on envisage un atome au point de vue des conceptions classiques de la mécanique et de l'électrodynamique, il n'y a pas de distinction entre les diverses trajectoires électroniques : un nombre infini de trajectoires sont également possibles, et il y a continuité de l'une à l'autre. Si l'on fait appel, au contraire, à la notion de quanta, l'on est conduit à admettre que, parmi toutes les trajectoires possibles, un nombre fini pourront exister et qu'elles forment une suite discontinue. Ainsi, l'on pose que les conditions de quanta assignent certaines limitations aux mouvements des électrons.

Pour l'atome dans l'état stable, c'est-à-dire non

excité, ces trajectoires possibles se laissent classer en groupes et en sous-groupes, caractérisés chacun par la grandeur de l'énergie, supposée invariable, de l'électron sur son orbite. C'est ce que l'on a convenu d'appeler le « niveau d'énergie » du sous-groupe considéré.

On admet que, tant qu'un électron reste sur l'une de ces orbites possibles, dites stationnaires, il ne peut rayonner, ni absorber d'énergie. Si, au contraire, il subit, pour une raison quelconque, un transfert d'une orbite stationnaire à une autre orbite stationnaire, orbites caractérisées par des niveaux d'énergie différents, on pose que la différence d'énergie se retrouve intégralement sous forme d'énergie lumineuse, rayonnée si l'énergie a diminué, absorbée si l'énergie s'est accrue.

Si l'on joint à ces postulats celui de Planck, la grandeur de l'énergie émise ou absorbée ne pourra être que d'un quantum, ce qui se traduit par l'équation

$$U_1 - U_2 = h\nu,$$

qui fixe la fréquence ν de la radiation, puisque h est une constante et que $U_1 - U_2$ a une valeur déterminée.

Comme les échanges d'énergie lumineuse de l'atome avec l'extérieur ne peuvent avoir lieu que par quanta, il s'ensuit tout naturellement que l'énergie que possède l'atome lorsqu'un électron occupe une orbite stationnaire doit elle-même consister en un nombre entier de quanta : c'est du moins l'hypothèse la plus simple. On a donc été conduit à affecter chaque orbite, ou chaque niveau, comme on voudra, de nombres quantiques entiers définissant l'énergie de l'atome lorsqu'un électron est à ce niveau. Il a du reste été nécessaire, pour rendre compte de la multitude des faits observés, d'établir des subdivisions dans les nombres quantiques des niveaux.

1° A chaque niveau est attaché un nombre n de quanta, qui peut prendre, selon le niveau, les valeurs 1, 2, 3, 4, ... Ce nombre mesure l'énergie totale de l'électron sur le niveau considéré. On l'appelle nombre quantique total, ou principal. Les orbites ou groupes d'orbites correspondants sont désignées comme il suit, par généralisation d'une nomenclature usitée dans l'étude des rayons X,

n	→	1,	2,	3,	4,	5,	6, . . .
orbite ou groupe d'orbites	→	K,	L,	M,	N,	O,	P, . . .

Le groupe K est le plus proche du noyau et c'est pourquoi il correspond à la plus faible énergie. Il faut remarquer cependant que les orbites de rang élevé ne sont pas forcément entièrement à l'extérieur des orbites de rang plus bas : en raison de la forme elliptique des trajectoires, un électron L peut plonger dans une couche inférieure K, ainsi que le montre le schéma de la figure 1.

2° Sommerfeld a joint au nombre quantique principal n un *nombre quantique azimutal* k.

Le moment de la quantité de mouvement de l'électron sur sa trajectoire (1) est proportionnel à ce nombre k. Les faits expérimentaux ont conduit à admettre que k est égal ou inférieur à n, la valeur zéro

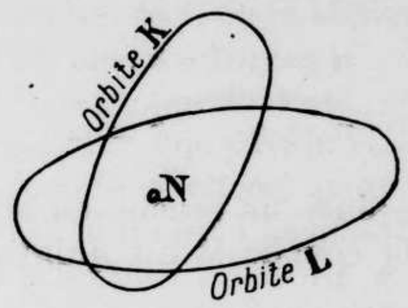


Fig. 1. — Intersection de deux orbites d'électrons.

étant en général exclue. Il peut donc prendre en général les valeurs

$$k = n,\quad n-1,\quad n-2,\quad \ldots,\quad 3,\quad 2,\quad 1.$$

Par exemple, pour la couche K, on a $n = 1, k = 1$;

pour la couche L, $n = 2$, $k = 1$, ou 2

pour la couche M, $n = 3$, $k = 1$, 2 ou 3

pour la couche N, $n = 4$, $k = 1$, 2, 3 ou 4, etc.

Ces attributions de nombres quantiques correspondent à une subdivision des couches en sous-couches, dont chacune correspond à une valeur différente de k.

Voici donc comment s'établit cette subdivision (dans le cas général)

n	→	1	2	3	4	5
couches	→	K	L	M	N	O
sous-couches	→	K_1	L_1L_2	$M_1M_2M_3$	$N_1N_2N_3N_4$	$O_1O_2O_3O_4O_5$

(les indices correspondent aux valeurs de k).

3° Enfin, l'interprétation complète des spectres a nécessité une subdivision plus détaillée encore. Le niveau K est simple; mais la couche L comporte en réalité trois niveaux, la couche M en comporte cinq, etc. ; d'où l'introduction d'un troisième nombre quantique, le *nombre quantique interne* de Sommerfeld, désigné par le symbole j. Le moment de la quantité de mouvement de l'atome entier par rapport à son axe de rotation est proportionnel à ce nombre j.

Dans chaque sous-couche, j ne peut prendre que les valeurs k et $k - 1$ en général, à l'exclusion de zéro. L'étude du phénomène de Zeeman (subdivision des lignes spectrales sous l'action du champ magnétique) a montré que le nombre d'électrons appartenant à un niveau j est égal à $2j$.

Se basant sur ces prémisses, qui, imposées tout d'abord par l'expérience, se trouvent maintenant justifiées par application des postulats de la mécanique

(1) Par rapport à un axe passant par le noyau et perpendiculaire au plan de la trajectoire.

ondulatoire, il est aisé d'énumérer les niveaux de chaque couche. La couche K est caractérisée par $n = 1$, $k = 1$, $j = 1$; elle ne comporte qu'un niveau, que l'on désigne par le symbole K_{11}. La couche L est formée de trois niveaux, qui sont désignés respectivement par

L_{11} $n = 2$ $k = 1$ $j = 1$

L_{21} $n = 2$ $k = 2$ $j = 1$

L_{22} $n = 2$ $k = 2$ $j = 2$

et l'on procède ainsi de proche en proche pour toutes les couches : la couche M est quintuple, la couche N septuple, etc.

Il existe du reste, dans ce sujet encore neuf, plusieurs systèmes de symboles, dont aucun n'est employé exclusivement. Parmi ceux-ci, il importe de rappeler une désignation déjà ancienne des diverses séries de lignes, dont l'existence avait été décelée dans les spectres atomiques bien avant l'apparition de la théorie quantique. On distinguait alors, pour certains éléments :

a) Une série de lignes fines et nettes, appelée série étroite, et désignée par *s* de « sharp », étroit) ;

b) Une série principale, désignée par *p* ;

c) Une série diffuse, désignée par *d* ;

d) Une série fondamentale, ou de Bergman, désignée par *f*.

Par la suite, on a découvert d'autres séries, auxquelles on a assigné les symboles *g*, *h*, *i*, ...

On a reconnu que la série étroite relève de transitions électroniques entre niveaux pour lesquels le nombre quantique azimutal *k* est égal à 1. C'est pourquoi tous les niveaux pour lesquels $k = 1$ sont appelés niveaux *s*, et par extension on appelle électron *s* un électron occupant un niveau *s*. Pour une raison analogue, les niveaux $k = 2$ sont des niveaux *p*, les niveaux $k = 3$ des niveaux *d*, $k = 4$ des niveaux *s*, etc.

Ce classement des niveaux électroniques atomiques, dû principalement à Stoner, conduit au tableau II, qui représente les couches électroniques sur lesquelles viennent se distribuer les électrons des atomes successifs de la classification périodique.

Dans ce tableau ne figurent que les deux atomes He et Ne dont les niveaux possèdent leur nombre maximum d'électrons, donné, ainsi qu'on l'a vu plus haut, par $N = 2j$. Les autres atomes du tableau périodique ont certains de leurs niveaux plus ou moins incomplets.

A titre d'exemples de la façon dont les électrons se disposent sur les niveaux énergétiques de l'atome, nous donnons, dans la figure 2, quelques représentations schématiques des atomes les plus simples. Nous y remplaçons arbitrairement les trajectoires réelles par des trajectoires circulaires, qui n'ont d'autre rôle que de rattacher des électrons de même niveau, sans impliquer que les trajectoires de tels électrons soient confondues, ce qui n'est pas. Dans ces schémas, les électrons sont désignés par de petits cercles, les noyaux positifs par des points affectés de la charge $+Ze$, où Z est le numéro atomique. A noter enfin que ces figures sont extrêmement loin d'être à l'échelle, en ce qui concerne les dimensions relatives des noyaux, des électrons et des trajectoires.

L'on est arrivé ainsi à fixer, en général avec une raisonnable précision et une certitude satisfaisante, la structure électronique de la plupart des atomes connus,

TABLEAU II. — *Classification des niveaux électroniques atomiques.*

COUCHES ÉLECTRONIQUES	n	k	j	DÉSIGNATION DES NIVEAUX	NOMBRE N D'ÉLECTRONS appartenant à chaque niveau	NOMBRE D'ÉLECTRONS DE LA COUCHE EXTÉRIEURE	NOMBRE TOTAL Z D'ÉLECTRONS	ATOMES CORRESPONDANTS
K	1	1 (s)	1	K_{11}	2	2	2	Hélium ($Z = 2$)
L	2	1 (s)	1	L_{11}	2	8	10	Néon ($Z = 10$)
		2 (p)	1	L_{21}	2			
			2	L_{22}	4			
M	3	1 (s)	1	M_{11}	2	18		
		2 (p)	1	M_{21}	2			
			2	M_{22}	4			
		3 (d)	2	M_{32}	4			
			3	M_{33}	6			
N	4	1 (s)	1	N_{11}	2	32		
		2 (p)	1	N_{21}	2			
			2	N_{22}	4			
		3 (d)	2	N_{32}	4			
			3	N_{33}	6			
		4 (f)	3	N_{43}	6			
			4	N_{44}	8			
O	5	1 (s)	1	O_{11}	2	50		
		2 (p)	1	O_{21}	2			
			2	O_{22}	4			
		3 (d)	2	O_{32}	4			
			3	O_{33}	6			
		4 (f)	3	O_{43}	6			
			4	O_{44}	8			
		5 (g)	4	O_{54}	8			
			5	O_{55}	10			
P	6	1 (s)	1	P_{11}	2	72		
		2 (p)	1	P_{21}	2			
			2	P_{22}	4			
		3 (d)	2	P_{32}	4			
			3	P_{33}	6			
		4 (f)	3	P_{43}	6			
			4	P_{44}	8			
		5 (g)	4	P_{54}	8			
			5	P_{55}	10			
		6 (h)	5	P_{65}	10			
			6	P_{66}	12			
Q	7	1 (s)	1	Q_{11}	2			
		2 (p)	1	Q_{21}	2			
			2	Q_{22}	4			
		3 (d)	2	Q_{32}	4			
			3	Q_{33}	6			

capable de rendre compte des particularités de leurs spectres d'émission ou d'absorption. La capacité de prévision de l'édifice théorique ainsi construit, par laquelle se juge la valeur de toute théorie, a dépassé les espoirs des plus optimistes.

Dans ses grandes lignes, voici comment peut se comprendre l'émission (ou l'absorption) d'énergie radiante

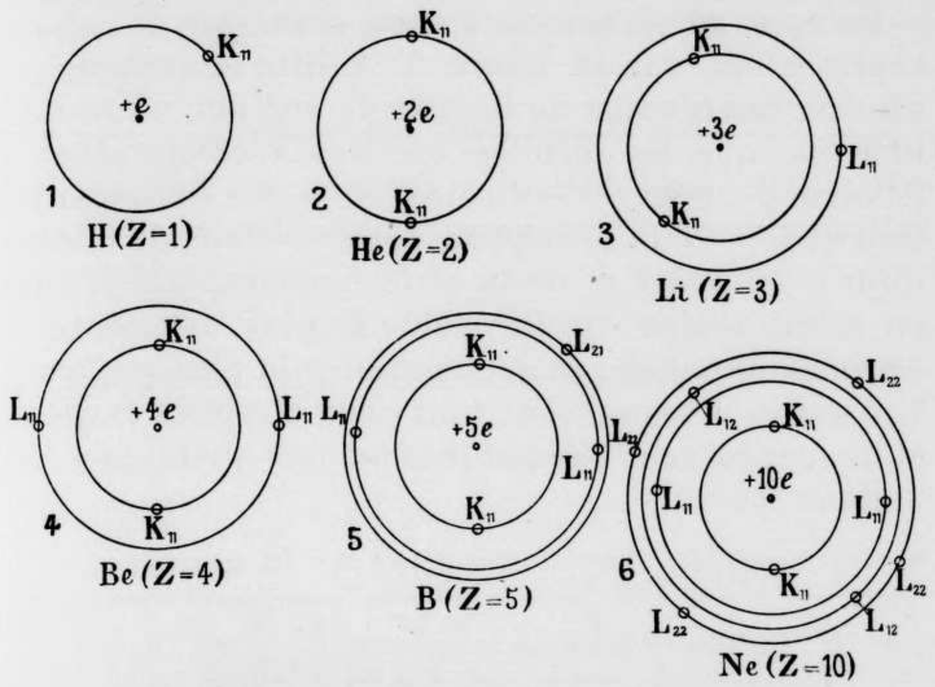


Fig. 2. — Représentation schématique des atomes les plus simples : 1, hydrogène ($Z = 1$); 2, hélium ($Z = 2$); 3, lithium ($Z = 3$); 4, béryllium ($Z = 4$); 5, bore ($Z = 5$); 6, néon ($Z = 10$).

par un atome. Il y a d'abord à distinguer deux cas : le premier, celui où l'excitation de l'atome est extrêmement violente; dans le second cas, l'excitation est au contraire modérée.

1° Le premier cas se présente lorsque l'atome est traversé par un électron de grande vitesse, lancé par une cathode à potentiel (négatif) élevé ou par un corps radioactif. En raison de sa grande énergie cinétique, l'électron pourra parvenir aux couches profondes de l'atome, telles que N, M, L ou K, et en arracher par choc un électron. Supposons que l'électron arraché appartienne à la couche K; l'atome deviendra instable, et un électron tombera de la couche L à la couche K, avec diminution d'énergie, donc émission d'un quantum de radiation; du reste l'électron peut aussi bien venir de couches voisines plus extérieures, telles que M, N,... L'ensemble de ces transitions possibles vers K constitue une suite de radiations monochromatiques de fréquences croissantes, qui constituent les radiations K de l'atome. On pourra avoir, de même, émission d'un groupe de radiations qui correspondent à un niveau final L : ce sont les radiations L Si le flux d'électrons est assez dense, on pourra observer tout un spectre, formé des radiations K, L, M, N,... Les radiations K correspondent à la plus grande libération d'énergie, donc à la plus grande fréquence et à la plus petite longueur d'onde. La longueur d'onde ira en croissant le long de la suite K, L, M, N,... Le spectre ainsi obtenu présente, dans son ensemble, une très grande fréquence : c'est un spectre de rayons X.

2° Si l'excitation est considérablement plus modérée, elle portera sur les couches électroniques externes de l'atome et, le plus souvent, sur un électron de la couche la plus extérieure, ou électron de valence, le même qui intervient dans les forces de liaison chimique entre atomes. Dans le cas d'un atome monovalent, comme le lithium, dessiné en figure 2, ou le sodium, ou le potassium,... etc., c'est un électron s ($k = 1$) qui sera le premier excité. Il sera porté, avec absorption d'un quantum d'énergie, sur une orbite virtuelle de quantum plus élevé (orbite excitée), pour faire retour à l'orbite initiale avec émission d'un quantum de lumière. Tous les retours possibles à l'orbite s donnent lieu à une suite discontinue de radiations, une série de lignes.

Il se trouve du reste, ainsi qu'on le verra plus loin, que toutes les transitions électroniques ne sont pas également possibles, et que seuls peuvent revenir à l'orbite s des électrons p. La série émise correspondra à des transitions à la même orbite s des électrons lancés aux divers niveaux p excités : c'est ce qu'on appelle la série principale; sur le schéma de la figure 3, les symboles s, p, d, f, sont remplacés par σ, π, δ, φ. Le mode d'obtention étant le même pour les

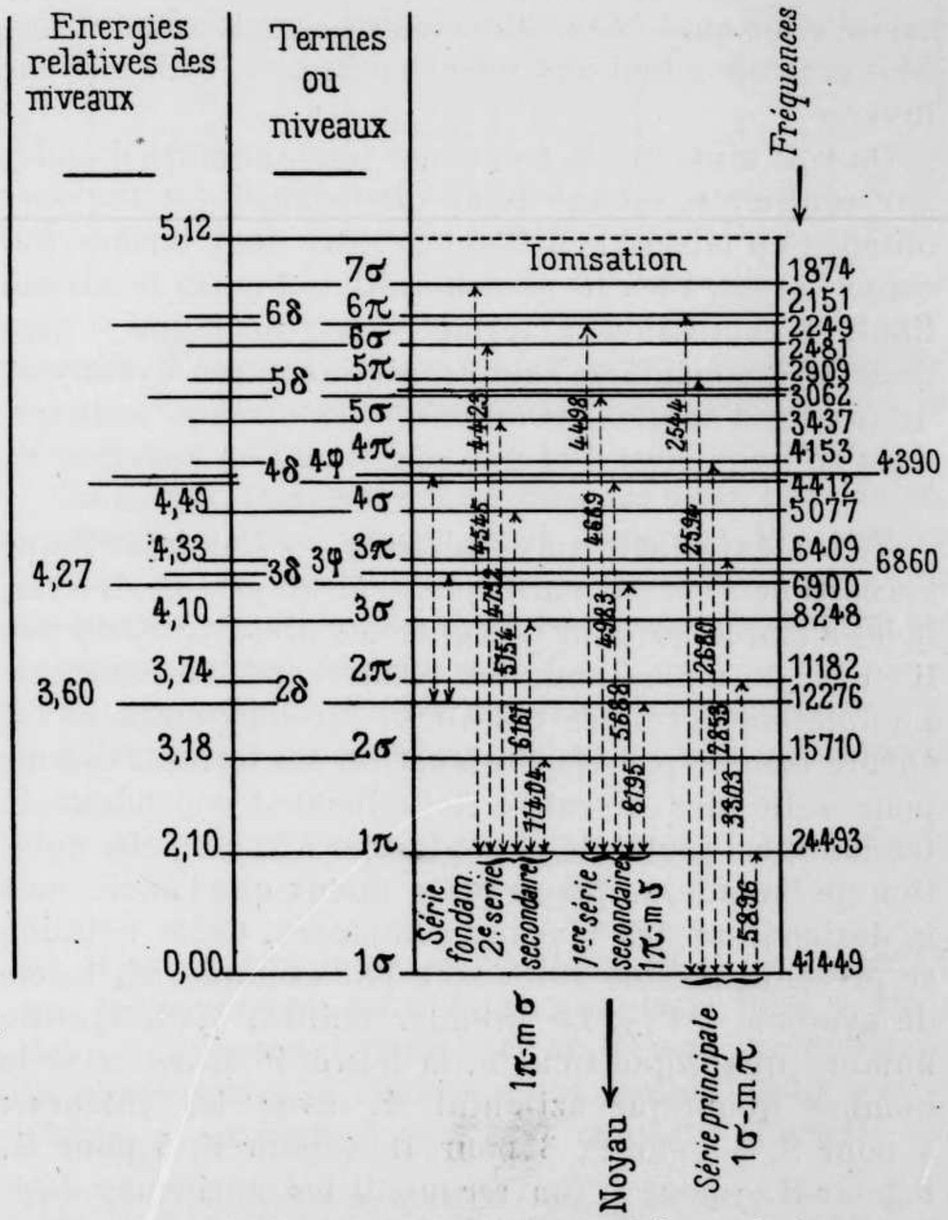


Fig. 3. — Schéma des niveaux énergétiques de l'atome de sodium excité.

divers métaux alcalins, dont la couche externe comporte uniformément un seul électron s, les séries p de ces métaux vont présenter entre elles des analogies étroites, qui sont bien connues.

VII. **Schémas de niveaux atomiques.** — Lorsque l'atome est un peu compliqué, il est assez malaisé d'établir la structure du spectre in abstracto. On utilise alors avec avantage des schémas représentatifs des positions relatives des divers niveaux de l'atome, tant normaux qu'excités. Pour cela, on convient de considérer le noyau de l'atome comme à l'infini (il est en fait extrêmement éloigné, vu l'extrême petitesse des électrons et du noyau par rapport aux distances) et cela permet d'assimiler une portion petite des diverses trajectoires à un système de droites parallèles. On convient de prendre comme niveau origine un niveau assez profond pour qu'il n'y ait pas à considérer de transitions faisant passer un électron au-dessous de ce niveau. A partir de ce niveau origine, les niveaux successifs, plus élevés que lui, sont répartis à des distances proportionnelles aux différences d'énergie et, par conséquent, de fréquence ou encore de nombre d'ondes au centimètre.

Chaque radiation émise correspond au passage d'un électron d'un niveau excité au niveau normal correspondant et sa fréquence ou son nombre d'ondes par centimètre est immédiatement donné en faisant la différence entre les nombres qui caractérisent les niveaux excité et normal, respectivement. Les radiations absorbées correspondent aux mêmes passages, mais en sens inverse.

On voit ainsi que la fréquence (ou le nombre d'ondes par centimètre) d'une ligne quelconque est toujours obtenue en faisant la différence entre deux termes, qui caractérisent, l'un le niveau initial, l'autre le niveau final. L'expression « terme spectroscopique » peut donc être considérée comme pratiquement synonyme de niveau d'énergie, si toutefois les niveaux sont gradués en fréquences ν et non réellement en énergies $h\nu$.

VIII. **Désignation des termes.** — J'ai déjà dit que l'accord ne s'est pas encore fait sur le système de symboles à employer pour désigner les niveaux d'énergie. Il en est de même pour les termes spectroscopiques. La notation esquissée plus haut fut longtemps et est encore utilisée pour la désignation des termes, comme pour celle des niveaux. Actuellement cependant, la tendance est plutôt de se conformer à la nouvelle notation de Saunders, qui se prête mieux que l'ancienne à la désignation des niveaux complexes. Cette notation se présente comme suit : soit, par exemple, un terme de symbole $4^2P_{1,2}$. Le premier chiffre, 4, désigne le nombre quantique total n, la lettre P caractérise le nombre quantique azimutal k, avec les valeurs : 1 pour S, 2 pour P, 3 pour D, 4 pour F, 5 pour G, 6 pour H, 7 pour I, (on reconnaît les anciennes désignations *s*, *p*, *d*, *f*, indiquées plus haut). Les nombres inscrits en bas et à droite de P sont les nombres quantiques internes j. S'il y a un seul nombre j, le niveau est simple, les lignes correspondantes sont également simples et s'appellent des *simplets* ; on dit encore que la multiplicité du niveau est égale à 1. S'il y a deux nombres quantiques, le niveau est double, sa multiplicité est égale à 2 et l'on a une série de *doublets*. A trois nombres quantiques correspond la multiplicité 3, et l'on a une série de *triplets*, etc. Afin qu'il n'y ait pas d'ambiguïté sur la valeur de la multiplicité, un nombre égal à 2, dans l'exemple ci-dessus, est placé en indice en haut et à gauche de la lettre (ici P) qui sert à indiquer la valeur du nombre quantique azimutal.

Exemple de schéma de niveaux atomiques. — Nous représentons sur la figure 3, à titre d'exemple, le schéma des niveaux de l'atome de sodium, où ne sont figurées que les orbites excitées correspondant à l'émission de la série étroite $1\pi - m\sigma$ (notation de Fowler) (1), de la série principale $1\sigma - m\pi$, de la série diffuse $1\pi - m\delta$ et de la série fondamentale ; 1σ est en même temps l'orbite stable la plus extérieure de l'atome normal et son orbite excitée la plus profonde. Les autres niveaux sont tous ceux d'orbites excitées, et ils sont caractérisés par les nombres quantiques azimutaux suivants

$$\left.\begin{array}{ll} 1 & \text{pour } m\sigma \\ 2 & \text{pour } m\pi \\ 3 & \text{pour } m\delta \\ 4 & \text{pour } m\varphi \end{array}\right\} \quad \begin{array}{c} m = 1, 2, 3, \ldots \\ \text{est équivalent} \\ \text{au nombre quantique total } n. \end{array}$$

Tous les doublets de la série principale sont émis lorsqu'un électron tombe d'un niveau π au niveau 1σ. Cette série converge vers 1σ. Elle est formée par les doublets de longueurs d'onde moyennes 5896 ; 3303 ; 2853 ; 2680 ; 2594 ; 2544 Å. En réalité, les niveaux π sont en effet doubles, mais leur séparation est trop petite pour pouvoir être représentée sur le diagramme, qui ne donne que le niveau le plus près du noyau.

De même, la première série secondaire est donnée par les transitions d'électrons des niveaux 2δ, 3δ, ... $m\delta$ au niveau 1π, avec les longueurs d'onde 8195 ; 5688 ; 4983 ; 4669 ; 4498 Å. La deuxième série secondaire correspond aux transitions des niveaux 2σ, 3σ, ... $m\sigma$ au niveau 1π, et ses lignes ont pour longueurs d'onde 11404 ; 6161 ; 5154 ; 4752 ; 4545 ; 4423 Å.

Enfin la série fondamentale est due aux transitions des niveaux $m\varphi$ au niveau 2δ.

Les transitions figurées sur le schéma par des lignes en pointillé correspondent à des radiations infrarouges.

On remarquera sur ce diagramme que le niveau 1σ est pris comme origine des niveaux ; à gauche du diagramme les énergies relatives sont exprimées par le produit de volts par la charge de l'électron et cependant les niveaux sont gradués en nombres d'ondes par centimètre dans le sens croissant de haut en bas : ce mode de graduation est fréquent et correspond à la convention qui consiste à considérer comme nulle l'énergie du système atome-électron, lorsque l'électron est à l'infini, et, par

(1) Les symboles *s*, *p*, *d*, *f* sont ici remplacés par les caractères grecs σ, π, δ, φ.

conséquent, comme négative, et de plus en plus grande en valeur absolue, l'énergie du système, à mesure que l'électron se rapproche du noyau de l'atome. Les nombres d'ondes du diagramme sont proportionnelles à ces valeurs absolues. Naturellement, dans cette représentation, la diminution d'énergie est mesurée par la différence entre la valeur absolue du niveau le plus bas et celle du niveau le plus élevé, entre lesquelles se produit la transition considérée : en effet, si nous appelons

$$U_1 = -h\nu_1 \quad \text{et} \quad U_2 = -h\nu_2$$

les énergies des niveaux initial et final, respectivement, la transition correspondra à la diminution d'énergie

$$U_1 - U_2 = h(\nu_2 - \nu_1);$$

sa fréquence sera donc bien donnée par la différence

$$\nu = \nu_2 - \nu_1.$$

IX. **Relations de séries dans les spectres de lignes** (1). — D'une façon générale, toute ligne correspond à une combinaison entre deux termes spectroscopiques, qui représente une transition électronique entre les niveaux correspondants. Mais les combinaisons entre ces termes ne se produisent pas au hasard ; elles obéissent à des lois déterminées, qui permettent de classer les termes en systèmes, formés chacun de plusieurs séries de termes, en général multiples.

Le système est caractérisé par sa multiplicité r, ou nombre maximum de composantes qu'un terme de ce système peut posséder. On connaît toutes les valeurs de r de 1 à 8.

Dans les séries successives de chaque système de termes, qui, nous l'avons vu, sont désignées par les lettres s, p, d, f, g, h, i, le nombre de composantes croît, en prenant les valeurs 1, 3, 5, ... pour s'arrêter au maximum r, et conserver ensuite cette valeur dans les séries suivantes (2).

TABLEAU III. — *Val urs du nombre quantique interne j dans les diverses séries et les divers systèmes de termes.*

k	SÉRIES	SIMPLETS $r=1$	DOUBLETS 2	TRIPLETS 3	QUARTETS 4	QUINTETS 5	SEXTETS 6	SEPTETS 7
1	s	$j=0$	1	1	2	2	3	3
2	p	1	1,2	0, 1, 2	1, 2, 3	1, 2, 3	2, 3, 4	2, 3, 4
3	d	2	2,3	1, 2, 3	1, 2, 3, 4	0, 1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5
4	f	3	3,4	2, 3, 4	2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5, 6	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6
5	g	4	4,5	3, 4, 5	3, 4, 5, 6	2, 3, 4, 5, 6	2, 3, 4, 5, 6, 7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Dans le spectre d'arc d'un élément donné, les systèmes sont tous de multiplicité, soit paire, soit impaire, les valeurs impaires et paires alternant pour les éléments successifs rangés dans l'ordre des numéros atomiques (*principe d'alternance*) : la multiplicité maximum croît par exemple d'une unité lorsqu'on passe du potassium ($r = 2$) au manganèse ($r = 8$) et ce fait se reproduit probablement pour les éléments homologues des autres parties du tableau périodique.

Considérons maintenant les spectres d'étincelle, émis par les atomes ionisés ; soit par exemple l'atome de calcium neutre ($Z = 20$), qui est formé de couches électroniques successives comportant, en s'écartant du noyau

2, 4, 4, 4, 4 et 2 électrons.

La composition correspondante des couches électroniques de l'atome de potassium ($Z = 19$) est

2, 4, 4, 4, 4 et 1 électrons.

L'atome Ca+, c'est-à-dire une fois ionisé, donc ayant perdu l'un de ses deux électrons périphériques, ressemblera à l'atome neutre K. Il en résultera une analogie étroite entre les spectres correspondants, dont l'émission dépend des électrons périphériques.

Ainsi, le spectre d'un élément une fois ionisé (ou spectre d'étincelle du premier ordre) ressemble au spectre de l'élément non ionisé (spectre d'arc) qui le précède.

De même, le spectre d'un élément deux fois ionisé, c'est-à-dire ayant perdu deux électrons (ou spectre d'étincelle du deuxième ordre) ressemble au spectre de l'élément non ionisé dont le numéro atomique est inférieur au sien de deux unités, etc.

Cet énoncé constitue le *principe du déplacement*.

Tout terme spectroscopique y peut être mis sous la forme

$$y = \frac{R}{(m+x)^2}$$

où R est la constante de Rydberg, et m un entier (3) qui est équivalent au nombre quantique total n. Pour des composantes homologues de termes successifs de la même série, m change d'une unité, tandis que le résidu x ou reste à peu près constant (formule de Rydberg), ou peut se mettre sous la forme $\mu + \frac{a}{m}$ (formule de Hicks) ou $\mu + ay$ (formule de Ritz).

(1) H.-N. RUSSELL et F.-A. SAUNDERS. *Astrophysical Journal*, 1925, t. LXV, p. 38.

(2) On constatera qu'il en est bien ainsi dans le tableau III.

(3) C'est aussi le m du schéma de l'atome de sodium de la figure 3.

Les séparations entre les composantes d'un terme multiple diminuent d'ordinaire rapidement lorsque m croît; il y a pourtant des exceptions.

Il y a ainsi, pour chaque atome, de nombreux termes qui caractérisent des niveaux susceptibles d'être occupés temporairement par un électron périphérique. Il ne faudrait pas croire, cependant, que les transitions électroniques puissent se produire entre deux niveaux quelconques. Les *principes de sélection* déterminent celles des combinaisons entre ces nombreux termes qui donnent naissance à des lignes observables : des combinaisons ne sont d'ordinaire possibles qu'entre termes de séries adjacentes, c'est-à-dire pour lesquelles les valeurs du nombre quantique azimutal k ne diffèrent que d'une unité : par exemple, on peut observer des combinaisons entre termes de la série s ($k = 1$) et de la série p ($k = 2$), ou entre termes de la série p et de la série d ($k = 3$), ou entre termes de la série p et de la série f ($k = 4$), etc., alors que les combinaisons entre termes de la série s et de la série d, par exemple ($\Delta k = 2$), ou encore entre deux termes différents de la série s ($\Delta k = 0$), sont d'un caractère exceptionnel. On peut constater ce fait en se reportant au diagramme de l'atome de sodium (fig. 3), où l'on n'observe que des combinaisons entre termes σ et π (série principale et deuxième série secondaire), entre termes π et δ (première série secondaire), et entre termes δ et φ (série fondamentale). D'autre part, le nombre quantique interne j diffère d'une composante d'un terme multiple à une autre, et aussi dans les diverses séries et les divers systèmes de termes, selon le schéma du tableau III (Landé).

Les composantes homologues des termes successifs de la même série, correspondant aux différentes valeurs de m, ont le même nombre quantique interne j. Un terme multiple donné possède des composantes affectées de valeurs successives de j différant entre elles d'une unité, ainsi que le montre encore le tableau ci-dessus. La séparation entre ces composantes croît en général avec la valeur de j. Lorsque r est pair, elle est à peu près proportionnelle à la plus grande des deux valeurs de j; lorsque r est impair, elle l'est à la moyenne des deux valeurs de j (règle des intervalles, de Landé). Le plus souvent, j croît dans le même sens que le niveau énergétique, mais pour quelques éléments, la relation est intervertie.

Des combinaisons ne peuvent se produire qu'entre termes pour lesquels j ne diffère que de ± 1 ou 0. Si, toutefois, $j = 0$ dans les deux termes, il ne se produit pas de radiation. Les lignes correspondant à $\Delta j = \pm 2$ n'apparaissent que dans des cas exceptionnels.

La combinaison de deux termes multiples peut dès lors donner naissance à un groupe de lignes plus ou moins nombreuses (on en a compté jusqu'à 18). De tels groupes ont été désignés par Catalán du nom de *multiplets*. Leur découverte a grandement facilité l'analyse des spectres très complexes, comme celui du fer. Dans un tel groupe, les lignes pour lesquelles les changements de j et de k, en passant d'un terme à l'autre, sont de même signe, sont les plus intenses et celles pour lesquelles les changements sont de signes contraires sont les plus faibles. Ces relations d'intensités rendent de grands services dans la recherche des multiplets.

X. **Théorie quantique du spectre de l'hydrogène** (1). — Nous allons maintenant illustrer les généralités qui précèdent en montrant comment on peut, réciproquement, ces prémisses étant admises, expliquer ou même prévoir la structure d'un spectre. Nous nous adresserons au spectre de l'atome le plus simple, l'atome d'hydrogène, en rappelant que le point de départ de cette théorie est dû à Bohr (1913).

1. Les spectres de l'hydrogène. — Malgré la simplicité de l'atome d'hydrogène, son spectre d'émission est fort complexe. La portion la plus connue en est le spectre de lignes (spectre atomique), qui est formé d'un nombre restreint de lignes distribuées suivant une loi très simple. A côté de ce spectre, on en observe dans certaines conditions un autre, formé d'un grand nombre de lignes réparties de façon qui semble à première vue totalement irrégulière. C'est le spectre secondaire.

On a reconnu qu'il s'agit, en réalité, d'un spectre de bandes, dont les composantes sont, à l'inverse de ce qui se produit d'ordinaire, étalées sur un espace considérable. Le spectre secondaire est donc attribuable à la molécule d'hydrogène.

Enfin, il apparaît dans le spectre de l'hydrogène un fond continu, sur la nature duquel il est encore malaisé de se prononcer.

2. Le spectre atomique. — Dans les lignes qui suivent, nous nous occuperons exclusivement du spectre atomique. Il prédomine lorsque l'excitation est assez violente, ce qui s'obtient en faisant passer la décharge condensée dans un tube contenant l'hydrogène sous basse pression. On observe dans ces conditions, à l'œil nu, la suite de lignes désignées par H_α, H_β, H_λ, H_δ, ... qui se poursuit dans l'ultraviolet.

3. La série de Balmer. — En 1885, Balmer fut frappé du mode de répartition régulière de ces lignes et il montra qu'en effet leurs positions dans le spectre obéissent avec une grande précision à une loi simple, qui se traduit, en notation moderne, par l'équation

$$\nu = \frac{1}{\lambda_0} = R\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right]$$

où $R = 109\,677{,}8$ ondes par centimètre (constante de Rydberg) et $n = 3, 4, 5, 6, \ldots$

Voici les premières lignes de la série de Balmer,

(1) D'après L. Bloch, cours professé à la Sorbonne, en 1927.

observées et calculées au moyen de la formule précédente.

Lignes	n	Valeur calculée de λ — Å	Valeur observée de λ — Å
H_α	3	6563,04	6563,07
H_β	4	4861,49	4861,52
H_γ	5	4340,66	4340,64
H_δ	6	4101,90	4101,90
H_ε	7	3970,25	3970,24
H_ζ	8	3889,21	3889,21
...	...	.....	.....

Aujourd'hui, on a pu porter jusqu'à 20 le nombre des lignes de la série de Balmer observées dans le tube à vide ; de nouvelles composantes de la série ont été découvertes dans le spectre des nébuleuses et enfin la série se poursuit jusqu'à son cinquantième membre dans le spectre d'absorption de l'hydrogène. Toutes ces lignes sont représentées avec la même précision par la formule précédente.

Cette formule montre que les lignes se serrent de plus en plus à mesure que n croît et que la série converge vers la limite.

$$\nu_\infty = \frac{R}{4} = 27\,419{,}45 \text{ ondes par centimètre}$$

ou $\lambda_\infty = 3\,647$ Å.

4. Autres séries. — En 1906, Lyman découvrit dans l'ultraviolet lointain une autre série de l'hydrogène, dite série de Lyman, qui s'apparente étroitement à la précédente et répond à une équation de même forme, savoir

$$\nu = R\left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right]$$

où R a la même valeur que dans la formule de Balmer et où $n = 2, 3, \ldots$

A l'autre extrémité du spectre, c'est-à-dire dans l'infrarouge, Paschen observe en 1908 d'autres lignes de l'hydrogène, qui forment une série représentable par

$$\nu = R\left[\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right] \quad \text{où} \quad n = 4, 5, \ldots$$

Enfin, plus récemment (1922), Brackett, en prolongeant la série de Paschen, découvrit dans l'infrarouge plus lointain une dernière série, donnée par

$$\nu = R\left[\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right] \quad \text{avec} \quad n = 5, 6, \ldots$$

Au total, nous nous trouvons donc en présence de quatre séries de structure analogue :

1° Dans l'ultraviolet lointain, la série de Lyman ;

2° Dans le visible, la série de Balmer ;

3° Dans le proche infrarouge, la série de Paschen ;

4° Dans l'infrarouge lointain, la série de Brackett.

On peut fondre en une seule les équations représentant ces quatre séries et écrire

$$\nu = R\left[\frac{1}{p^2} - \frac{1}{n^2}\right]$$

avec p et n entiers et $n > p$. On obtient ainsi la formule de Balmer généralisée, qui donne

pour $p = 1$; $n = 2, 3, 4, \ldots$, la série de Lyman
pour $p = 2$; $n = 3, 4, 5, \ldots$, la série de Balmer
pour $p = 3$; $n = 4, 5, 6, \ldots$, la série de Paschen
pour $p = 4$; $n = 5, 6, 7, \ldots$, la série de Brackett.

5. Théorie de la formule de Balmer. — Dans le spectre atomique de l'hydrogène, l'on n'observe pas d'autres lignes que celles prévues par la formule de Balmer généralisée et il était indiqué de rechercher le sens théorique de cette formule. Avant la date de l'important mémoire de Bohr (1913), tous les efforts pour y parvenir avaient échoué. Les tentatives effectuées de divers côtés étaient basées, comme il est naturel, sur la théorie électromagnétique classique, et l'on se trouvait conduit, dans ces conditions, à faire appel aux vibrations fondamentales et harmoniques de l'atome d'hydrogène. Ce qui rendait à priori impossible la réussite de ces efforts, c'est que la fréquence des harmoniques d'un système vibrant croît théoriquement jusqu'à l'infini, en même temps que leur ordre, alors que les vibrations électroniques auxquelles était rattachée, dans cette manière de voir, l'émission de lumière de l'atome, ont des fréquences qui convergent vers une limite finie, lorsque le numéro d'ordre de l'« harmonique » croît indéfiniment. Ce fait suffit à lui seul à établir le caractère propre des phénomènes atomiques, qui se montrent irréductibles aux oscillateurs envisagés par la théorie électromagnétique classique et nécessitent donc l'introduction de postulats entièrement différents : nous allons voir que ces postulats consistent essentiellement à faire appel à la notion de quanta, que l'explication des phénomènes de rayonnement calorifique avait antérieurement rendue nécessaire (Planck, 1901).

Il convient, toutefois, de signaler auparavant une acquisition importante de la théorie des spectres, sous le nom de principe de combinaison (Ritz, 1908). La formule de Balmer généralisée nous montre que la fréquence d'une ligne quelconque se présente comme la différence entre deux termes, de la forme $\frac{R}{p^2}$ et $\frac{R}{n^2}$: ce sont les termes spectroscopiques qui, nous l'avons déjà vu, jouent un rôle important dans la théorie des spectres. Parmi ces termes, il en est de nombreux qui sont communs à des lignes de séries différentes et, si l'on considère deux telles lignes, la différence de leurs fréquences peut éliminer les termes communs et faire apparaître la différence de deux autres termes, à laquelle correspond souvent une autre ligne de série. On aura, par exemple,

$$\nu = f(p) - f(n) \quad \text{pour une première ligne,}$$
$$\nu' = f(p) - f(m) \quad \text{pour une seconde ;}$$
$$\nu' - \nu = f(n) - f(m) = \nu''$$

sera souvent la fréquence d'une ligne observable.

Le principe de combinaison de Ritz s'énonce ainsi : *Quand on a un spectre formé de séries de lignes, la différence des fréquences de deux lignes de ce spectre est souvent la fréquence d'une troisième ligne.*

Ce principe a rendu de grands services, indépendamment de toute théorie, dans la recherche ou l'identification, parfois malaisée, des membres d'une série spectrale.

Dans la théorie quantique des spectres, les termes spectroscopiques trouvent une interprétation immédiate : ils correspondent aux niveaux énergétiques des diverses orbites électroniques de l'atome. Nous avons vu plus haut qu'un électron atomique peut occuper diverses orbites, dont chacune est définie par trois nombres quantiques; nous caractériserons ici chaque orbite par son nombre quantique total ou principal, désigné plus haut par n.

L'interprétation de la formule de Balmer est la suivante :

On admet que l'énergie mécanique totale d'un électron situé sur une orbite de rang n est donnée par

$$U_n = -\frac{hR}{n^2},$$

formule qui implique que le zéro d'énergie correspond à $n = \infty$, c'est-à-dire au cas où l'atome est ionisé (électron à distance infinie du noyau).

Si l'électron est transporté sur une orbite de rang p, il prendra l'énergie

$$U_p = -\frac{hR}{p^2}.$$

Supposons $p < r$; d'après la deuxième hypothèse de Bohr, le passage sera l'origine de l'émission d'un quantum $h\nu$ de radiation, donné par

$$h\nu = U_n - U_p = hR\left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{n^2}\right),$$

ce qui donne la formule de Balmer.

On voit que l'interprétation du principe de combinaison est immédiate : il correspond au fait qu'un électron émet (ou absorbe) un quantum de radiation en passant d'un niveau énergétique à un autre, inférieur ou supérieur.

6. Calcul de la constante de Rydberg. — Si l'on parvient à mettre l'énergie mécanique totale de l'électron sur son orbite sous la forme

$$U_n = -\frac{hR}{n^2},$$

on pourra déterminer la constante R, au moyen de constantes antérieurement connues, et comparer la valeur théorique de R avec sa valeur expérimentale.

Ce problème a été traité par Bohr, puis par Sommerfeld. En principe, le système atomique est celui d'un point attiré par un autre avec une force variant en raison inverse du carré de la distance. On sait que la trajectoire est en général une ellipse, qui peut dans certains cas se réduire à un cercle. Nous allons nous placer dans un tel cas, qui fournit du problème une solution de première approximation. Ecrivons que l'électron est en équilibre sur sa trajectoire (fig. 4), sous l'action de la force attractive $\frac{e^2}{r^2}$, et de la force centrifuge $m\omega^2 r$

$$m\omega^2 r = \frac{e^2}{r^2} \quad \text{ou} \quad m\omega^2 r^3 = e^2, \qquad (1)$$

m étant la masse de l'électron et ω, sa vitesse angulaire.

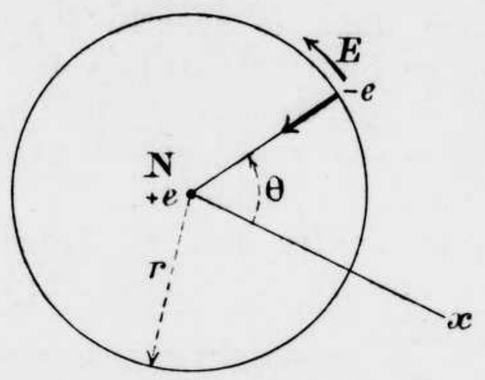


Fig. 4. — Atome d'hydrogène.
Mouvement de l'électron E autour du noyau N.

L'équation (1) ne définit pas une trajectoire déterminée : toutes les trajectoires définies par la condition

$$\omega^2 r^3 = \text{constante}$$

sont également possibles : au point de vue de la mécanique classique, on a une infinité d'orbites possibles, formant une suite continue. S'il n'y avait aucune autre condition, et si l'on admettait que les phénomènes intraatomiques se déroulent en conformité avec la théorie électromagnétique, chaque orbite serait rayonnante, d'où un spectre continu, alors que l'on observe un spectre discontinu à structure caractéristique.

La condition introduite par Sommerfeld se traduit par l'équation

$$\int_0^{2\pi} P\,d\theta = nh$$

où P est le moment de la quantité de mouvement de l'électron par rapport à un axe passant par le noyau et perpendiculaire au plan de l'orbite. On peut considérer cette équation comme un postulat, à combiner avec celui de l'émission d'énergie lumineuse par quanta.

Je m'empresse d'ajouter qu'il ne faut pas savoir ce que c'est qu'un postulat pour prétendre que celui-ci est injustifié ou arbitraire. La seule justification à exiger est la concordance de ses conséquences logiques avec les faits d'expérience.

La quantité de mouvement de l'électron est

$$mv = m\omega r$$

et son moment par rapport à l'axe sera

$$P = m\omega r^2.$$

Dans le cas actuel, c'est une constante, et l'on obtient immédiatement

$$2\pi m\omega r^2 = nh. \qquad (2)$$

On a donc le système

$$m\omega^2 r^3 = e^2,$$

$$m\omega r^2 = \frac{nh}{2\pi}$$

qui, résolu par rapport à r, fournit les rayons successifs possibles de la trajectoire électronique

$$r = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 m e^2};$$

ce qui donne

Valeurs de n	Valeurs de r
$n = 1$	$r_1 = \dfrac{h^2}{4\pi^2 m e^2}$
$n = 2$	$r_2 = 4 r_1$
$n = 3$	$r_3 = 9 r_1$
.....	.....

On trouve pour r_1 la valeur $0{,}53 \times 10^{-8}$ cm, de sorte que le diamètre de la première orbite, la plus stable (1), est voisin de 10^{-8} cm, qui est précisément la valeur du diamètre de l'atome d'hydrogène, mesuré par des procédés entièrement différents, dont la base est la théorie cinétique des gaz. On ne saurait trop souligner cette première et remarquable confirmation de la théorie.

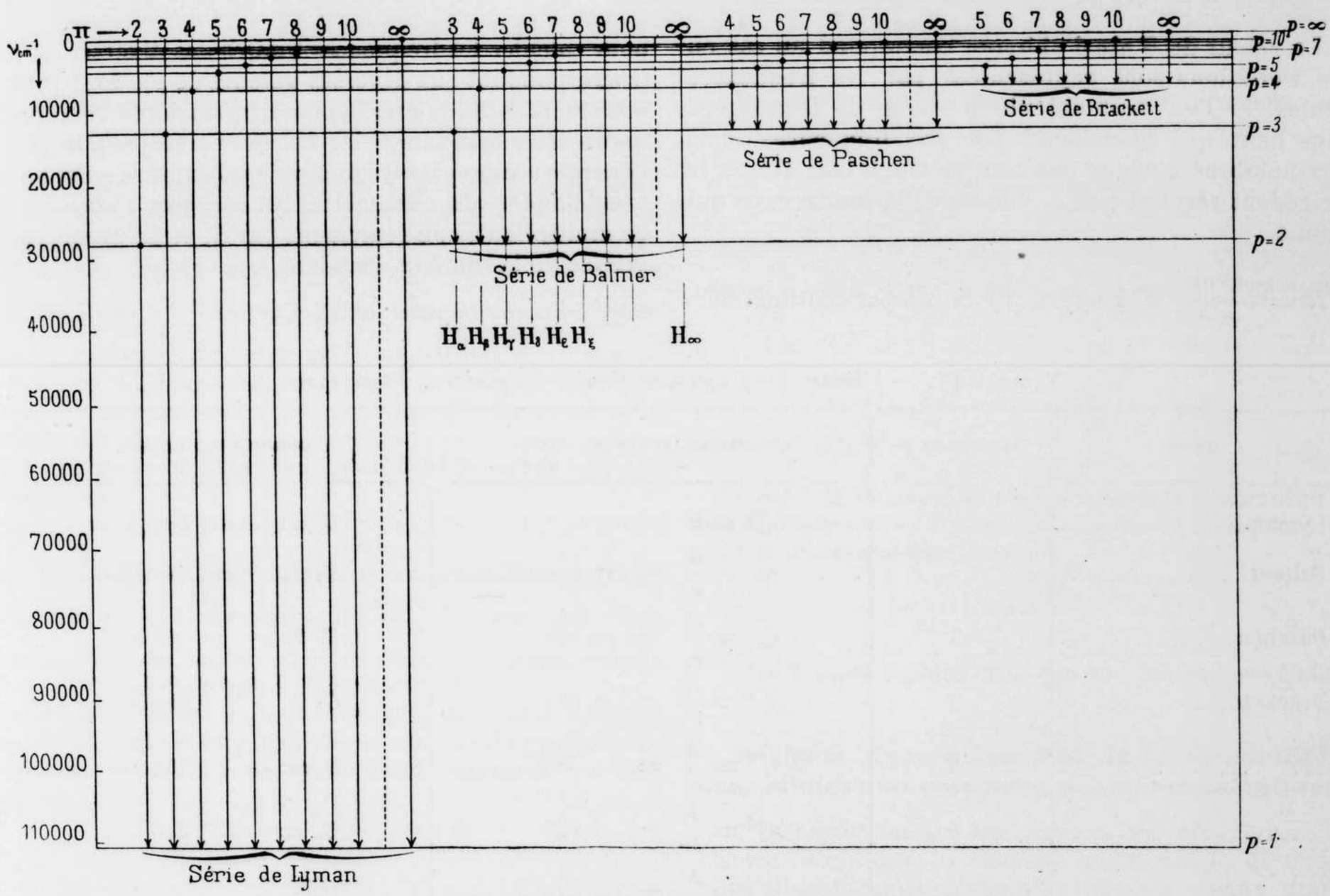


Fig. 5. — Schéma des niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène.

Calculons maintenant l'énergie de l'électron sur son orbite. Elle se compose de deux parties, son énergie potentielle W et son énergie cinétique w,

$$U_n = W_n + w_n.$$

Le zéro d'énergie correspondant à $r = \infty$; l'énergie potentielle à une distance r quelconque est

$$W = -\frac{e^2}{r}$$

ou, en remplaçant r par sa valeur

$$W = -\frac{4\pi^2 m e^4}{h^2 n^2}.$$

D'autre part, l'énergie cinétique de l'électron a pour valeur

$$w = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 r^2 = \frac{1}{2}\frac{e^2}{r} = -\frac{1}{2} W.$$

(1) Donc celle de l'atome d'hydrogène à l'état normal.

L'énergie totale U vaut donc

$$U_n = \frac{1}{2} W = -\frac{2\pi^2 me^4}{h^2 n^2}.$$

Si l'on compare cette expression avec

$$U_n = -\frac{hR}{n^2},$$

on obtient

$$R = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3}.$$

Le problème est donc résolu; la constante R est exprimée en fonction de la charge et de la masse de l'électron, et de la constante de Planck

$$h = 6{,}55 \times 10^{-27} \text{ ergs-secondes.}$$

La valeur de R ainsi obtenue correspond au cas où les radiations sont représentées par les fréquences vraies. Si l'on veut obtenir la valeur de R indiquée plus haut, qui correspond non aux fréquences, mais aux nombres d'ondes par centimètre, il faut diviser le précédent résultat par c, vitesse de la lumière, ce qui donne

$$R = \frac{2\pi^2 me^4}{ch^3} = 1{,}097 \times 10^5 \text{ ondes par centimètres}$$

le nombre expérimental étant

$$R = 109\,677{,}8 \text{ ondes par centimètre.}$$

Le premier nombre est donné avec la précision avec laquelle les constantes m, e, c et h dont il dépend, ont été mesurées. A cette précision près, les deux nombres, théorique et expérimental, sont concordants, ce qui constitue une nouvelle justification importante de la théorie.

7. Représentation géométrique. — Pour terminer, nous allons donner le schéma des niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène, en utilisant le mode de représentation décrit plus haut.

Nous partons de la formule de Balmer généralisée

$$\nu = R\left[\frac{1}{p^2} - \frac{1}{n^2}\right]$$

pour calculer les fréquences limites des diverses séries (correspondant aux diverses valeurs de p), dont quatre seulement sont connues, les quatre premières. Nous indiquons en même temps les valeurs correspondantes de l'énergie : comme les fréquences sont exprimées en nombres d'ondes par centimètre, les énergies s'obtiennent en multipliant, non seulement par h, mais aussi par c, vitesse de la lumière, car dans

$$U = h\nu,$$

Tableau IV. — *Valeurs des fréquences limites des séries de l'hydrogène.*

SÉRIES	VALEURS DE p	FRÉQUENCES LIMITES DES SÉRIES	ÉNERGIES DES NIVEAUX
Lyman.....	1	$\nu_\infty^1 = R = 109\,677{,}8$	$U_1 = -109\,677{,}8\,ch$
Balmer.....	2	$\nu_\infty^2 = \frac{R}{4} = 27\,420$	$U_2 = -27\,420\,ch$
Paschen.....	3	$\nu_\infty^3 = \frac{R}{9} = 12\,186$	$U_3 = -12\,186\,ch$
Brackett.....	4	$\nu_\infty^4 = \frac{R}{16} = 6\,855$	$U_4 = -6\,855\,ch$
.....	5	$\nu_\infty^5 = \frac{R}{25} = 4\,387$	$U_5 = -4\,387\,ch$
.....	6	$\nu_\infty^6 = \frac{R}{36} = 3\,046$	$U_6 = -3\,046\,ch$
.....	7	$\nu_\infty^7 = \frac{R}{49} = 2\,238$	$U_7 = -2\,238\,ch$
.....	8	$\nu_\infty^8 = \frac{R}{64} = 1\,714$	$U_8 = -1\,714\,ch$
.....	9	$\nu_\infty^9 = \frac{R}{81} = 1\,354$	$U_9 = -1\,354\,ch$
.....	10	$\nu_\infty^{10} = \frac{R}{100} = 1\,097$	$U_{10} = -1\,097\,ch$
.....	∞	0	$U_\infty = 0$

ν est supposé exprimé en périodes par seconde, c fois plus grandes que les nombres d'ondes au centimètre. On a dès lors, pour les fréquences limites des séries les résultats consignés dans le tableau IV.

Ainsi qu'il a déjà été expliqué, pour graduer les niveaux d'énergie atomique, l'on fait abstraction du facteur ch qui figure dans l'expression de l'énergie, de façon à ne faire figurer réellement que les nombres d'ondes par centimètre. C'est conformément à cette convention qu'est établi, sur la figure 5, le schéma de l'atome d'hydrogène. On y constate que, conformément au principe de combinaison, les mêmes niveaux correspondant aux limites des diverses séries sont tous (sauf le plus bas, bien entendu) des niveaux origines de transitions électroniques, pour l'émission des divers membres de chaque série.

On notera enfin que les transitions entre niveaux éloignés (série de Lyman) correspondent à une grande valeur du quantum $h\nu$, et par conséquent à une grande fréquence ν, puisque h est une constante : d'où émission dans l'extrême ultraviolet. Au contraire, les transitions entre niveaux rapprochés (série de Brackett) donnent un quantum $h\nu$ faible, une faible fréquence et une grande longueur d'onde, et la série figure dans l'infrarouge lointain.

(*A suivre.*)

L. Bruninghaus,
Docteur ès Sciences,
Professeur agrégé de l'Université

Revues, analyses et informations

Etablissement de la formule générale des champs tournants à l'aide des nombres complexes.

M. Gaston Fister, ingénieur E.S.M.E. et I.E.G., nous adresse une note dans laquelle il démontre le théorème bien connu d'après lequel un système polyphasé de n champs alternatifs, dirigés suivant des axes formant entre eux des angles égaux à $\frac{2\pi}{n}$ se ramène à un champ tournant d'intensité constante. L'intérêt de cette note réside dans la simplicité de la démonstration résultant de l'emploi des nombres complexes. Nous avons cru utile d'indiquer ici cette démonstration.

Etant donné un champ alternatif dont la valeur à chaque instant est

$$H = H_m \cos \omega t,$$

on sait que ce champ alternatif est assimilable à deux champs d'amplitude constante $\frac{H_m}{2}$, tournant en sens inverse l'un de l'autre avec une vitesse constante et égale à ω (théorème de Maurice Leblanc.)

La traduction par les nombres complexes est immédiate : à chaque instant les deux champs tournants peuvent évidemment être définis par les nombres complexes

$$\frac{H_m}{2} e^{j\omega t} \quad \text{et} \quad \frac{H_m}{2} e^{j(2\pi - \omega t)}.$$

Dans un système polyphasé de n phases, les deux champs tournants relatifs à la phase d'ordre k sont

$$\frac{H_m}{2} e^{j\left(\omega t - \frac{2(k-1)\pi}{n}\right)} \quad \text{et} \quad \frac{H_m}{2} e^{j\left(2\pi - \omega t + \frac{2(k-1)\pi}{n}\right)}.$$

Si ces champs sont rapportés à l'axe de la phase 1, axe Ox, qui forme avec celui de la phase k un angle $\frac{2(k-1)\pi}{n}$, leurs expressions sont

$$\frac{H_m}{2} e^{j\left(\omega t - \frac{4(k-1)\pi}{n}\right)} \quad \text{et} \quad \frac{H_m}{2} e^{j(2\pi - \omega t)}.$$

Le champ résultant s'obtient en faisant la somme des n champs composants de chacune des n phases ; or

$$\sum_{k=1}^{k=n} \frac{H_m}{2} e^{j\left(\omega t - \frac{4(k-1)\pi}{n}\right)} = 0,$$

comme somme d'une progression géométrique de raison $e^{-j\frac{4\pi}{n}}$ et

$$\sum_{k=1}^{k=n} \frac{H_m}{2} e^{j(2\pi - \omega t)} = n \frac{H_m}{2} e^{j(2\pi - \omega t)}.$$

Ce résultat montre bien que les n champs alternatifs d'un système polyphasé à n phases se réduisent à un champ tournant H d'intensité constante

$$H = n \frac{H_m}{2}.$$

Cette formule est bien celle que nous entendions établir. — G. F.

Méthode d'accroissement de la sensibilité des cellules photoélectriques à métaux alcalins (1).

1. La sensibilisation des cellules photoélectriques. — L'auteur décrit dans ce mémoire une technique destinée à sensibiliser les cellules photoélectriqnes à métaux alcalins à l'action de la lumière, en laissant parvenir à la surface du métal de petites quantités de gaz ou de liquides diélectriques, comme l'oxygène, la vapeur d'eau, la vapeur de soufre, l'anhydride sulfureux, le sulfure d'hydrogène, l'air, le bisulfite de sodium, le sulfure de carbone, etc., ou d'un composé organique comme l'alcool méthylique, l'acide acétique, le benzène, le nitrobenzène, l'acétone, etc., ou enfin d'une matière colorante organique, comme la tropacoline, la rosaniline, l'éosine, la cyanine, la kryptocyanine, la dicyanine, la néocyanine, etc. L'accroissement marqué de l'émission électronique par les cathodes de cellules ainsi traitées est dû, tout d'abord, à un accroissement de sensi-

(1) A.-R. Olpin, *The physical Review*, 15 juillet 1980, t. xxxvi (2e série), p. 251-295, 10000 mots, 41 figures.

bilité à la lumière rouge et infrarouge. On a pu obtenir des cellules vides à sodium fournissant des courants photoélectriques atteignant 7 microampères par lumen de lumière blanche dont la température de couleur était 2848° K et des cellules à césium fournissant des courants beaucoup plus intenses.

Le courant débité par ces cellules se montre proportionnel à l'intensité de la lumière excitatrice même pour des radiations de longueurs d'onde plus grandes que celles auxquelles la cellule était sensible avant le traitement.

2. Discussion des résultats. — Les courbes de sensibilité spectrale sont semblables pour toutes les cellules utilisant le même métal comme cathode. Ces courbes diffèrent de celles données par le métal pur par l'apparition d'un nouveau maximum sélectif aux faibles fréquences. Ce nouveau maximum ressemble au maximum régulier du métal non traité et il en est toujours séparé par la fréquence d'une ligne bien connue du spectre de vibration-rotation des molécules diélectriques.

Au moyen d'une cellule construite de telle sorte que la cathode puisse être sensibilisée dans une chambre latérale, puis glissée à sa place, on a pu obtenir les potentiels d'arrêt des électrons libérés par une radiation monochromatique au moyen d'une cathode de sodium avant et après son traitement par la vapeur de soufre et l'air. Pour les radiations de longueur d'onde comprise entre 3500 et 8000 Å éclairant la cathode traitée, on a trouvé que les potentiels retardant les électrons variaient proportionnellement à la fréquence de la lumière excitatrice ce qui établit la validité de l'équatioo photoélectrique d'Einstein pour les surfaces mixtes. L'auteur a pu déduire de la ligne droite ainsi obtenue la valeur de la constante h de Planck, qui s'est montrée ainsi égale à $6{,}541 \times 10^{-27}$. Le sodium non traité a fourni une valeur presque identique. Les potentiels d'arrêt apparents, ou potentiels auxquels les courants photoéectriques deviennent nuls sont les mêmes avant et après le traitement au soufre ou à l'air. Le potentiel auquel le courant atteint la saturation est toujours plus grande après traitement qu'avant. La différence fournit la mesure du changement du potentiel de contact de la cathode par suite de la présence du soufre ou de l'air. Des changements d'environ 0,8 v sont communément observés.

La validité de l'équation d'Einstein exclut la possibilité d'expliquer le nouveau maximum de la courbe d'excitabilité spectrale d'une surface traitée par un « déplacement de Raman » des fréquences des radiations lumineuses incidentes et bien que la séparation de ces maxima soit égale à certaines fréquences bien connues de vibration-rotation des molécules diélectriques. Il est possible que la fréquence naturelle de l'atome alcalin soit diminuée par la fréquence de vibration de l'atome complexe auquel il est incorporé.

3. Généralisation de la formule de Lindemann. — La formule de Lindemann relative à la fréquence du maximum photoélectrique sélectif

$$2\pi\nu = \left(\frac{ne^2}{mr^3}\right)^{\frac{1}{2}}$$

en dépit de son aspect simpliste à la lumière des théories modernes, a toujours donné pour les métaux purs des valeurs en accord étroit avec les déterminations expérimentales. Le coefficient n est déterminé par la valence du corps avec l'unité pour les métaux alcalins monovalents. Mais, dans certaines conditions, les métaux alcalins présentent des valences différentes, ainsi qu'il arrive dans les peroxydes. Ces composés peuvent être préparés dans le vide et sont sensibles à la lumière. Les courbes d'excitabilité spectrale pour de telles cellules présentent tous les maxima sélectifs prévus par la formule de Lindemann lorsqu'on choisit la valeur de n qui correspond à la valence du métal. L'auteur montre la généralité de cette règle dans le cas des métaux alcalins. — L. B.

Le rétablissement des arcs alternatifs de faible longueur (1).

On sait que, contrairement à l'arc au carbone qui peut être maintenu dans un circuit à basse tension à courant alternatif, un arc entre électrodes métalliques ne peut pas l'être avec une tension inférieure à quelques centaines de volts. Slepian a attribué cette particularité des arcs entre électrodes métalliques à la formation immédiatement après l'annulation du courant d'une couche mince gazeuse non ionisée près de la cathode. Quand l'émission thermoionique est arrêtée, il faut, pour ranimer l'arc, briser cette couche en l'ionisant par collisions, ce qui requiert une tension de plusieurs centaines de volts. Du fait que les électrons sont beaucoup plus mobiles que les ions positifs, on comprend que la plus grande partie de la différence de potentiel appliquée se trouve au voisinage de la cathod e

Les auteurs étudient, dans cet article, au moyen d'un tube. à rayons cathodiques du type Braun, le rétablissement d'arcs stationnaires de faible longueur, avec des électrodes de laiton, cuivre, fer, tungstène et carbone ; leurs expériences ont également porté sur des arcs en mouvement rapide entre électrodes de cuivre. Les traces obtenues sur l'écran fluorescent représentent la relation entre l'intensité du courant et la différence de potentiel appliquée. On aperçoit nettement sur ces traces la différence de potentiel nécessaire pour que l'arc se rétablisse à l'instant où le courant s'est annulé et l'effet de la vapeur des électrodes sur la valeur et les variations de ce potentiel. Les arcs entre électrodes de corps réfractaires, carbone et tungstène, donnent sur l'écran fluorescent des traces qui diffèrent de celles données par les autres corps en ce que l'on n'observe pas de grandes différences de potentiel pour le rétablissement de l'arc. Les auteurs pensent que ce fait est dû à ce que les électrodes réfractaires sont portées à une température assez élevée pour qu'il y ait émission thermoionique.

Pour les électrodes d'autres substances, ils observèrent des différences de potentiel de plusieurs centaines de volts, ce qui suggère que le rétablissement de l'arc nécessite la rupture de la couche gazeuse interposée par la seule ionisation par chocs.

Les arcs en mouvement rapide sur les électrodes se rétablissent après le passage d'une décharge lumineuse. — L. B.

(1) F.-C. Todd et T.-E. Browne. *The physical Review*, 15 août 1930, t. xxxvi, (2e série), p 732 737, 900 mots, 12 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Le poste central de contrôle et de commande électrique à distance de la chauffe à l'usine d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Électricité

A la suite de la mise en service par la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité, à son usine d'Issy-les-Moulineaux, d'une nouvelle chaufferie au charbon pulvérisé, répondant aux progrès les plus récents de la technique moderne (*), le souci d'une exploitation commode et offrant des possibilités de rendements élevés, maintenus en service normal, conduisit cette compagnie à réaliser une centralisation de la commande des moteurs des services de la chaufferie. L'équipement électrique de cette partie de l'installation, confié à la Société générale de Constructions électriques et mécaniques (Als-Thom), est actuellement en fonctionnement normal, de telle sorte que l'ensemble de la chaufferie constitue une réalisation unique en France et probablement en Europe. Il nous a donc semblé intéressant de donner une description succincte de cette installation centralisée du réglage de la chauffe. Cette description, due à la société elle-même, s'attache plus spécialement à faire ressortir les solutions adoptées pour la commande à distance comme une illustration de la souplesse d'application des équipements électriques automatiques, ou semi-automatiques, aux exigences les plus variées de l'industrie moderne.

I. **Considérations sur le choix de la solution adoptée.** — Une solution limite du problème de l'obtention des conditions optima dans le réglage de la chauffe résidait dans l'automatisme intégral dont un certain nombre de réalisations étaient déjà connues, principalement aux Etats-Unis. D'autre part, d'autres applications étaient en cours de réalisation en Allemagne, à l'époque où la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité procédait à l'étude des extensions de l'usine d'Issy-les-Moulineaux.

Des considérations économiques d'abord et, d'autre part, la nouveauté des dispositions envisagées, dont l'efficacité pratique était à ce moment insuffisamment démontrée par les statistiques alors publiées, la grande complication mécanique des appareils utilisés et enfin certaines dispositions particulières propres à la nouvelle installation projetée ont conduit à une solution toute différente résidant essentiellement dans la centralisation des mesures des diverses variables dont dépend le réglage des chaudières et des moyens d'action susceptibles d'influencer ces variables.

L'orientation actuelle dans la construction des grands postes de distribution ou de répartition d'énergie électrique offre à un degré élevé un exemple des plus frappants de la tendance actuelle dans l'industrie moderne, c'est-à-dire la coordination des moyens de mesure et d'action. On tend, en effet, et de plus en plus, à grouper en un même poste de contrôle («dispatching») toutes les informations (appareils de mesure) concernant les besoins de l'exploitation et les moyens (commande à distance d'interrupteurs de branchement ou de couplage, etc.) susceptibles de faire face immédiatement à ces besoins.

C'est en s'inspirant de ces directives conformes aux tendances actuelles qu'il a été décidé de créer une centralisation des mesures et des commandes de la chaufferie, à partir d'un poste central de chauffe.

II. **Rappel du principe du fonctionnement des chaudières chauffées au charbon pulvérisé.** — Pour la compréhension du système, il est bon de rappeler le fonctionnement des chaudières à chauffage au charbon pulvérisé :

1° Le combustible préalablement réduit en poussière impalpable et bien séchée est puisé dans une trémie, placée au-dessus de chaque chaudière à l'aide de distributeurs de charbon commandés mécaniquement à une vitesse fonction de l'allure de la combustion;

2° Les distributeurs transportent le charbon pulvérisé dans une conduite où aboutit une dérivation du ventilateur d'air primaire;

3° Le mélange de charbon pulvérisé et d'air primaire arrive sous la faible pression assurée par le ventilateur, dans les brûleurs placés à la partie supérieure de la chambre de combustion;

4° Un ventilateur d'air secondaire envoie également,

(*) Les chaudières de l'usine génératrice d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité. *Revue générale de l'Electricité*, 18 octobre 1930, t. XXVIII, p. 612-620.

dans la chambre de combustion, un volume d'air, déterminé en fonction de l'allure de la chaudière afin d'assurer une combustion aussi parfaite que possible;

5° Enfin, un ventilateur de tirage assure l'évacuation à l'extérieur des produits de la combustion.

Le ventilateur de tirage doit être réglé à tout moment, en fonction des débits des ventilateurs d'air primaire et d'air secondaire, pour assurer une vitesse convenable aux gaz évacués et maintenir en légère dépression l'intérieur de la chambre de combustion, afin d'éviter les retours de flamme.

Une étude approfondie des conditions de fonctionnement a permis de ramener à quatre le nombre des paramètres indépendants à régler pour obtenir une combustion parfaite à tous les régimes. Ces variables sont :

a) La quantité totale de charbon ou, plus exactement, la quantité de chaleur utilisable fournie à la chaudière par les divers brûleurs (en nombre variable suivant le régime);

b) La valeur du rapport

$$\frac{\text{volume d'air primaire} + \text{volume d'air secondaire}}{\text{quantité de charbon}};$$

c) La valeur du rapport

$$\frac{\text{volume d'air primaire}}{\text{volume d'air secondaire}}$$

ou encore le volume d'air primaire seul;

d) La pression à l'intérieur de la chambre de combustion.

En dehors des valeurs relatives instantanées de ces paramètres, qui doivent être maintenues dans des rapports convenables, une variable importante dans le temps est constituée par la qualité du charbon à brûler et, dans une certaine mesure, intervient une deuxième variable dépendant de l'état de la chambre de combustion.

III. Programme des conditions à remplir pour la centralisation du réglage semi-automatique des appareils auxiliaires de la chaufferie et principales caractéristiques de l'installation.

— En tenant compte de ces considérations et du canevas déjà arrêté dans ses grandes lignes pour le système de réglage simultané à distance des services de la chaufferie, le programme détaillé suivant fut établi.

1. Réglage de la vitesse des moteurs. — Le premier point est celui du réglage à distance de la vitesse convenable, synchroniquement et par une seule manœuvre, de tous les moteurs des services d'une chaudière, c'est-à-dire le moteur du ventilateur de tirage, le moteur d'air secondaire, le moteur du ventilateur d'air primaire et trois moteurs des distributeurs de charbon.

Tous ces moteurs, du type blindé ventilé, ont été fournis par MM. Schneider et Cie. Pour chacune des chaudières, la ventilation de toutes les machines électriques placées dans la chaufferie est assurée par un moteur de ventilation auxiliaire, qui doit être démarré préalablement, pour permettre la mise en marche de tous les autres. L'arrêt intempestif de ce ventilateur pendant le service doit déclencher le fonctionnement d'un signal acoustique, mais ne pas provoquer l'arrêt des moteurs ventilés.

2. Réglage des chaudières. — L'installation, prévue pour six chaudières, est momentanément équipée avec cinq chaudières d'une surface de chauffe de 1 800 m² et timbrées à 44 kg : cm² (1). Des écrans d'eau apportent une surface évaporatoire complémentaire de 200 m². L'installation, qui doit surtout se caractériser par sa souplesse de commande, permet des marges d'allure considérables, soit 24 t de vapeur à l'heure pour l'allure minimum correspondant à l'allumage; 72 t de vapeur à l'heure pour l'allure économique; 120 t de vapeur à l'heure pour l'allure en pointe de deux heures.

La figure 1 représente une vue d'ensemble de la rue de chauffe de ces chaudières.

Le réglage des chaudières est prévu en principe individuellement. Cependant, dans le but d'assurer le maximum de souplesse à l'installation, plusieurs chaudières pourront être réglées simultanément aux mêmes régimes, par couplage en parallèle du système de commande électrique des services. Cette facilité permettra de satisfaire aux exigences suivantes :

Le régime variable de production de vapeur requise par la charge est assuré par deux ou plusieurs chaudières maintenues en parallèle aux environs du régime économique et l'on fait face aux variations de puissance par une chaudière d'appoint avec laquelle se font tous les réglages de petite ou moyenne importance.

En cas de variation très brusque de la charge, le régime thermique des chaudières ne pouvant être augmenté au-dessus d'une vitesse limite, rapidement atteinte du fait de l'inertie des fluides mis en jeu, le taux de variation générale de puissance de l'usine peut être néanmoins relativement élevé par le fait du réglage simultané des unités fonctionnant en parallèle.

3. Caractéristiques des moteurs des ventilateurs. — Pour satisfaire aux conditions posées au paragraphe précédent, en ce qui concerne les variations de régime des chaudières, les puissances maxima et caractéristiques des moteurs électriques commandant les ventilateurs, par chaudière, ont été fixées aux valeurs indiquées dans le tableau I.

Tableau I. — *Puissances et vitesses des moteurs des ventilateurs.*

Rôle du ventilateur	Puissance du moteur chevaux	Vitesse t : mn
Tirage	540	200 à 880
Air secondaire	138	230 à 1 150
Air primaire	77	1 000 à 1 850

(1) *Revue générale de l'Electricité*, loc. cit.

Ces moteurs sont alimentés en courant continu sous la tension constante de 220 v du réseau desservant tous les services auxiliaires de l'usine. Par raison d'économie, le conducteur négatif de la distribution est au potentiel de la terre et les retours d'alimentation sont groupés en un circuit général de terre non isolé.

4. Dispositions spéciales au moteur de tirage. — Pendant la période de variation d'allure des chaudières (augmentation ou diminution) le moteur de tirage doit toujours prendre (ou conserver) une vitesse de rotation relative plus grande, en comparaison de la vitesse normale résultant de l'ajustement des divers paramètres, que celle des autres moteurs, afin d'éviter qu'à aucun moment une surpression ne se produise dans la chambre de combustion.

5. Conditions de fonctionnement des moteurs de distributeurs de charbon et de ventilateur d'air primaire. — Les zones de réglage de l'allure de la chaudière ne permettent pas dans toute la gamme envisagée un fonctionnement satisfaisant des distributeurs de charbon et du ventilateur d'air primaire. Une pression et un débit minima aux brûleurs sont, en effet, nécessaires pour assurer une homogénéité suffisante au mélange d'air et de charbon. Dans ces conditions, aux allures

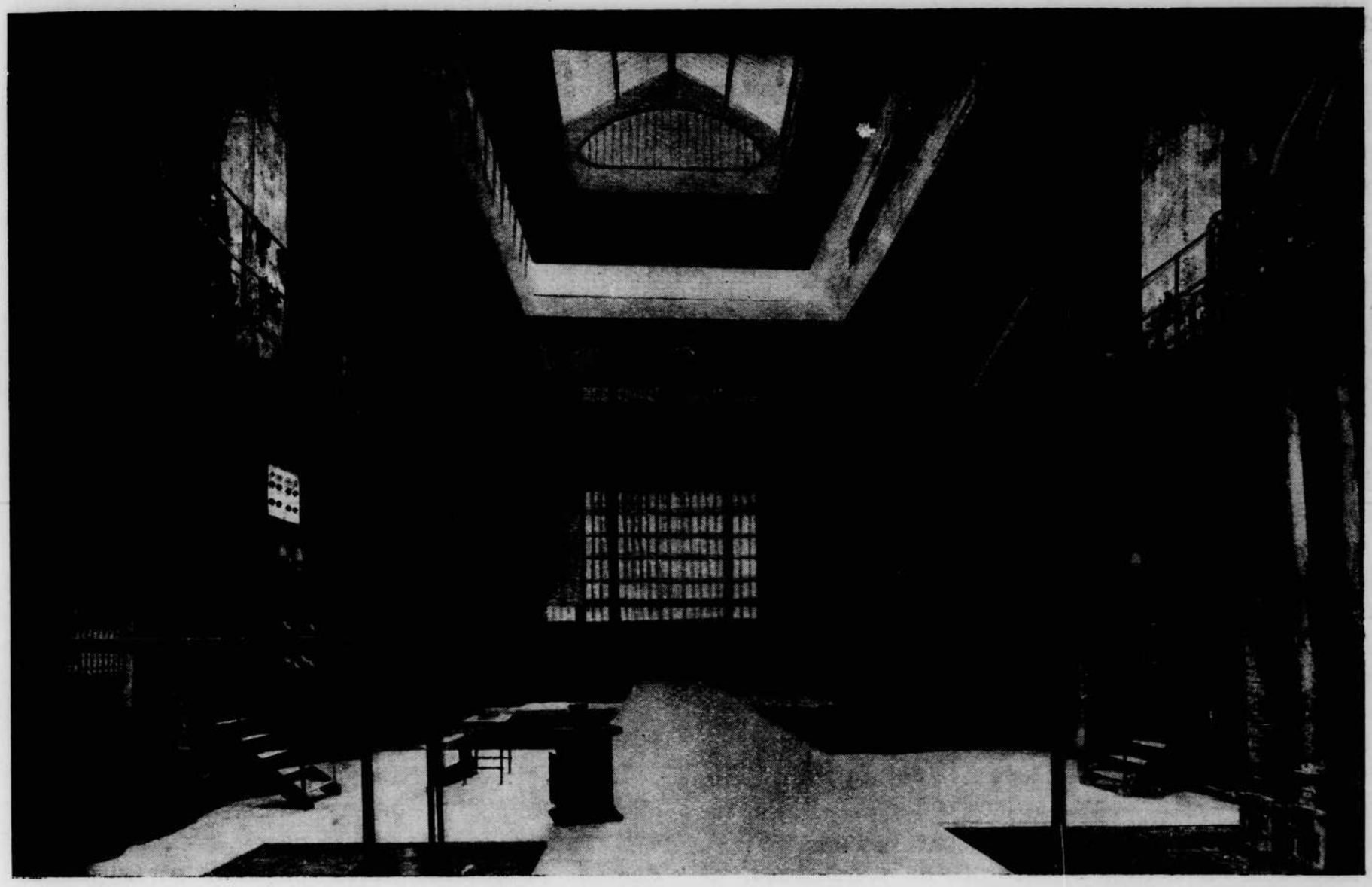


Fig. 1. — Vue d'ensemble de la rue de chauffe des chaudières chauffées au charbon pulvérisé, à l'usine d'Issy-les-Moulineaux.

de la chaudière inférieures à un débit de vapeur de 36 t à l'heure, un seul moteur de distributeurs de charbon (brûleurs centraux) est en service.

La vitesse du moteur de ventilateur d'air primaire subit corrélativement les modifications convenables. Le passage de la marche de 1 à 3 moteurs de distributeurs de charbon (brûleurs centraux ou totalité des brûleurs) s'effectue automatiquement sans aucune intervention manuelle autre que celle résultant du réglage normal.

6. Réglage de la quantité de charbon en fonction de sa qualité. — Le dispositif de réglage assurant d'une manière suffisamment précise l'ajustement relatif à toutes les allures de la chaudière des divers paramètres permet néanmoins de décaler dans le sens convenable et en fonction de la qualité de charbon brûlé, le paramètre « quantité de charbon » par rapport aux autres variables. Ce réglage, effectué une fois pour toutes et à une allure quelconque, reste valable à toutes les allures de la gamme de réglage sans autre intervention et tant que la qualité de charbon reste invariable.

7. Réglages individuels et manuels des moteurs, pour l'ajustement des divers paramètres. — Les valeurs relatives des divers paramètres principaux étant liées d'une manière invariable par le système de commande semi-

automatique en fonction des valeurs prédéterminées par le calcul, puis plus parfaitement ajustées après la mise en service, en tenant compte des résultats moyens d'essais pratiques, il reste toutefois permis certains ajustements individuels à $\pm$ 5 pour 100 de la valeur moyenne. Ces ajustements permettent de tenir compte de certaines variables échappant à l'analyse.

Ces réglages individuels permettent, par la manœuvre manuelle de rhéostats intéressant la vitesse de chacun des moteurs, de s'approcher davantage, à chaque allure, des conditions optima de rendement.

On effectue ces manœuvres de réglage en tenant compte, entre autres : pour le ventilateur de tirage, de l'indication des pourcentages d'anhydride carbonique, d'une part, d'hydrogène et d'oxyde de carbone, d'autre part, et du débit d'air secondaire ; pour le ventilateur d'air primaire, de l'indication du débit de cet appareil lui-même et de l'indication de longueur de flamme ; enfin pour le ventilateur d'air secondaire, de l'indication de son débit et de la pression dans la chambre de combustion.

En principe, tous les réglages pourraient être exécutés en n'agissant que sur ces trois rhéostats. Toutefois, le rhéostat des moteurs de distributeurs de charbon permet, avec une faible marge de réglage pour les trois variables ci-dessus, d'obtenir une plage de réglage beaucoup plus étendue, tenant compte de l'emploi possible de charbons très divers, dont le pouvoir calorifique varie de 6 000 à 7 200 calories par kilogramme.

Le système de liaison prédéterminé des diverses variables, ajustées soigneusement d'une façon momentanée par les rhéostats mentionnés ci-dessus pour obtenir le rendement optimum en un point de la courbe d'utilisation, permet de maintenir à une moyenne élevée le rendement global.

Lors de variations importantes de la charge, on s'efforcera d'abord de faire face à la pointe pour maintenir la pression à la valeur convenable, puis, après stabilisation relative, on pourra parfaire un nouveau réglage aux meilleures conditions de rendement, ce dernier rendement se maintenant ensuite pratiquement constant pour de faibles oscillations moyennes autour du nouveau point réglé.

8. Opérations a effectuer pour l'allumage des chaudières. — Afin d'éviter une complication inutile du système de commande, toutes les manœuvres de démarrage de moteurs pour l'allumage d'une chaudière (manœuvres peu fréquentes) se font manuellement et dans l'ordre ci-après : 1° ventilateur auxiliaire de ventilation des moteurs principaux ; 2° ventilateurs de tirage et d'air secondaire (ensemble) ; 3° ventilateurs d'air primaire et distributeurs centraux de charbon.

Ce démarrage se fait à l'allure minimum de la chaudière seulement, soit 24 t de vapeur à l'heure.

Cette opération terminée et les brûleurs centraux allumés, toutes les manœuvres du surveillant chargé de maintenir la pression à la valeur convenable se réduiront à l'impulsion sur une tirette « moins vite » ou une tirette « plus vite » et à l'ajustement de temps à autre, lors de variations importantes de la charge, des rhéostats de réglage complémentaire.

Toutes les autres manœuvres sont automatiques, en particulier le passage d'un à trois moteurs de distributeurs à l'allure de 36 t de vapeur à l'heure. Tous les réglages sont faits uniquement par variation de vitesse des moteurs sans interposition de registres d'obturation des conduites.

Toutefois, aux allures inférieures à 36 t de vapeur à l'heure, les dérivations du ventilateur d'air primaire aboutissant aux brûleurs extrêmes, non utilisés, sont obturées par deux papillons, un pour chaque groupe de brûleurs extrêmes, à deux positions seulement, « ouvert » et « fermé », commandés automatiquement. La manœuvre de démarrage automatique des moteurs de distributeurs de charbon des brûleurs extrêmes est verrouillée par le fonctionnement convenable de ces papillons appelés « registres d'air primaire ».

L'arrêt intempestif d'un des moteurs principaux doit provoquer celui de tous les autres moteurs.

9. Réglage de l'allure des chaudières. — Pour permettre, lors d'un réglage de la chaudière, l'établissement d'un régime stable entre les diverses variables, et afin d'éviter des troubles momentanés dus à un changement de régime trop brusque, les variations possibles d'allure sont limitées à une cadence maximum.

Il fut admis que soixante et une positions définies de réglage dans la zone des fonctionnements possibles seraient suffisantes. L'écart entre deux positions correspond alors à une différence de production d'énergie de 1,5 t de vapeur à l'heure. Le passage d'un point de réglage à un autre est réalisable au bout d'un temps minimum, d'ailleurs ajustable, de 7 à 10 secondes environ.

L'arrêt simultané de tous les moteurs de la chaudière est obtenu par action sur une tirette unique. Après extinction du foyer, il est possible de ramener rapidement l'ensemble à la position correspondant à l'allure minimum, en vue d'un nouvel allumage éventuel.

10. Organes de protection des moteurs. — Les dispositifs électriques décrits ci-dessus sont complétés par tous les organes nécessaires aux protections des moteurs, en tenant compte toutefois de l'importance du service à assurer, qui ne saurait s'accommoder d'arrêts intempestifs, et en y adjoignant tous les systèmes de signalisation jugés utiles.

11. Poste central de chauffe. — Tous les organes de commande sont réunis pour toutes les unités de la chaufferie en un local placé à l'extrémité de la rue de chauffe et dénommé « poste central de chauffe ».

Pour chaque chaudière, les éléments de contrôle et de mesure sont groupés en deux panneaux distincts, le panneau « contrôle générateur » et le panneau « démar-

rage générateur ». Le premier réunit les appareils de mesures thermiques, les rhéostats de réglage d'appoint des moteurs, les tirettes « plus vite » et « moins vite », et les appareils de mesures électriques capables de déterminer l'allure théorique prévue pour la chaudière en fonction de la position des appareils de réglage électriques.

Les appareils de mesures thermiques ne sont, en réalité, que des appareils indicateurs à distance du type dits « logomètres » transmettant au tableau de contrôle à l'aide d'un circuit auxiliaire à courant continu à 24 v, et d'une façon indépendante de la tension, les mesures faites par les analyseurs, situés dans la chaufferie. Le tableau de « contrôle générateur » porte encore un indicateur à distance du niveau de l'eau dans les chaudières, doublant les indications des niveaux à lecture directe placés sur les générateurs.

Au tableau de « contrôle générateur » est immédiatement juxtaposé le panneau « démarrage de la chaudière » portant tous les commutateurs et rhéostats nécessaires à la mise en service des moteurs auxiliaires de l'unité correspondante. Ce panneau reçoit encore les dispositifs de couplage en vue du fonctionnement isolé ou de la mise en parallèle avec d'autres unités.

Les organes accessoires de commande automatique et que le personnel n'a jamais à manipuler, sauf pour les entretiens périodiques, sont placés aux endroits disponibles du poste central de chauffe en dehors des « panneaux de générateurs ».

L'installation du « poste central de chauffe » offre encore l'avantage précieux, au double point de vue psychologique et économique, de placer dans un local relativement calme et propre les opérateurs chargés de la conduite de la chauffe.

Toutes les liaisons électriques entre les divers tableaux du poste de chauffe, les moteurs et les appareils divers disséminés dans l'installation, sont réalisées en câbles armés isolés à la cellulose et offrant un coefficient de sécurité élevé, au double point de vue électrique et mécanique.

12. Manœuvres exceptionnelles de secours. — Enfin pour terminer, et afin de réserver, pour des raisons surtout psychologiques, une certaine similitude avec les installations habituelles, on prévoit la possibilité de manœuvres exceptionnelles de secours dans la « rue de chauffe » au moyen d'un appareillage électrique disposé à proximité de la façade de chacune des chaudières et comprenant un rhéostat de réglage de l'air secondaire, un interrupteur général d'arrêt d'urgence, trois interrupteurs individuels de moteurs de distributeurs de charbon.

IV. **Solution électrique adoptée pour le réglage à distance de la chauffe.** — Nous ne nous étendrons ici que sur les considérations qui ont conduit à l'adoption de solutions soit nouvelles, soit présentant un certain caractère d'originalité dans l'application de procédés déjà connus.

1. Réglage de vitesse des moteurs. — 1° *Moteurs des ventilateurs de tirage et d'air secondaire.* — Ces moteurs réclamant un rapport des vitesses extrêmes égal à 5, la solution de variation par le champ ne pouvait être adoptée. Il fallait donc s'orienter vers une solution du genre Ward Leonard. Une étude économique de la question permit d'adopter la disposition suivante :

Les moteurs des ventilateurs de tirage et d'air secondaire sont alimentés par le réseau à la tension constante de 220 v en série avec un survolteur-dévolteur faisant varier la tension aux bornes des machines de 65 à 375 v (rapport 5, 7) couvrant ainsi largement et avec la marge désirable, compte tenu des chutes de tension en charge, la zone de réglage demandée.

Des considérations de facteur d'utilisation et de rendement moyen ont conduit à l'adoption d'un groupe survolteur-dévolteur par chaudière.

Les caractéristiques de la génératrice de ce groupe ont été déterminées comme suit :

La puissance maximum (en partant de la puissance maximum calculée des moteurs de tirage et d'air secondaire) sous 375 v est 540 ch + 138 ch = 678 ch ou, compte tenu du rendement, 570 kw environ. L'intensité du courant à 375 v est alors de 1520 ampères environ : la puissance du groupe est donc de 235 kw, puisque la tension à ses bornes est ± 155 v.

Pour tenir compte d'une certaine marge de sécurité, la puissance de la génératrice a été fixée à 255 kw.

Le survolteur est entraîné par un moteur à courant continu à 220 v alimenté par le réseau à tension constante.

Les courbes de la figure 2 montrent les écarts des

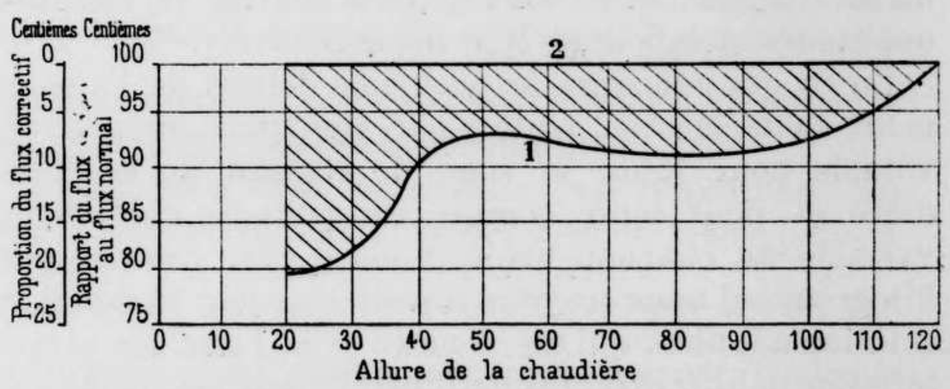


Fig. 2. — Courbes montrant les écarts de vitesses relatives en fonction de l'allure de la chaudière : 1, d'un moteur de ventilateur d'air secondaire; 2, d'un moteur de ventilateur de tirage. Cette dernière courbe est prise comme base, le moteur fonctionnant à 100 pour 100 du flux normal. La zone hachurée correspond à la correction de la vitesse par variation du champ du moteur du ventilateur d'air secondaire alimenté aux mêmes tensions.

vitesses relatives des moteurs des ventilateurs de tirage et d'air secondaire aux différentes allures de la chaudière, le moteur du ventilateur de tirage étant pris pour base. Ces écarts, minimes, ont permis de trouver convenable la solution d'un survolteur unique pour ces deux moteurs. Cette courbe a permis également le calcul des rhéostats de réglage additionnels par le champ des moteurs. La solution du survolteur unique a paru suffisamment approchée des conditions moyennes et

se recommandait particulièrement pour raisons d'économie.

En employant un survolteur, le calcul de la machine résulte de la considération d'allures maxima des moteurs asservis, du fait de l'allure du couple résistant (ventilateurs)

L'emploi d'un dévolteur seulement eût été de beaucoup plus avantageux au point de vue du calcul du groupe lui-même, mais l'examen d'ensemble du problème économique faisait alors apparaître une dépense plus importante pour l'installation des lignes de transmission d'énergie aux moteurs (puissance maximum transmise à 220 v). Cette nouvelle considération conduisait donc à porter à la plus grande valeur la tension maximum de distribution pour diminuer le poids de cuivre installé.

On était limité dans cette voie par les conditions de sécurité d'exploitation pour du matériel installé en chaufferie (atmosphère poussiéreuse).

Une analyse systématique de ces divers facteurs a conduit à l'adoption de la solution déjà indiquée.

2° *Moteurs de distributeurs de charbon.* — La marge de réglage réclamée entre les allures extrêmes, pour les distributeurs de charbon, a conduit à l'alimentation de ces moteurs par un survolteur-dévolteur ayant les mêmes caractéristiques de tension que celui qui est décrit ci-dessus. La puissance de cette machine pour les trois moteurs de distributeurs est de

$$17\ \text{A} \times 3 \times 155\ \text{v} = 8\ \text{kw environ.}$$

Cette génératrice a été installée en bout d'arbre du groupe survolteur principal. Les groupes, placés dans un local spécial situé sous le poste central de chauffe, ont été construits d'un type normal ouvert.

En ce qui concerne le problème délicat de l'ajustement de la tension réalisé par une seule manœuvre, valable pour toute la zone de réglage de la chaudière et pour tenir compte du pouvoir calorifique variable du charbon brûlé (6000 à 7200 calories par kilogramme) nous croyons devoir signaler en détail la solution adoptée, qui est, à notre avis, l'une des caractéristiques intéressantes de l'installation électrique.

Les inducteurs des groupes survolteurs sont branchés aux bornes de rhéostats potentiométriques alimentés sous la tension constante du réseau à 220 v. Les positions des curseurs de réglage de chacun de ces rhéostats d'excitation, pour les deux survolteurs-dévolteurs d'une même chaudière, sont rendus mécaniquement solidaires, afin d'assurer entre les valeurs instantanées des tensions d'alimentation des moteurs un rapport convenablement déterminé. Les déplacements des curseurs des rhéostats sont commandés à distance du poste central de chauffe par les tirettes « plus vite » et « moins vite » du panneau de « contrôle générateur ».

Une solution possible des écarts de la tension variable commune aux moteurs de tirage et d'air secondaire qui sera appelée, par la suite, « tension variable principale » par rapport à la tension variable des moteurs de distributeurs de charbon, résidait dans l'ajustement possible de la position mécanique relative des curseurs des rhéostats d'excitation potentiométriques. Cette solution primitivement envisagée conduisait à une grande complication avec les appareils prévus et se prêtait mal à une commande à distance facile.

On s'est arrêté à une solution purement électrique (fig. 3) : le survolteur-dévolteur S alimentant les moteurs de distributeurs de charbon possède deux

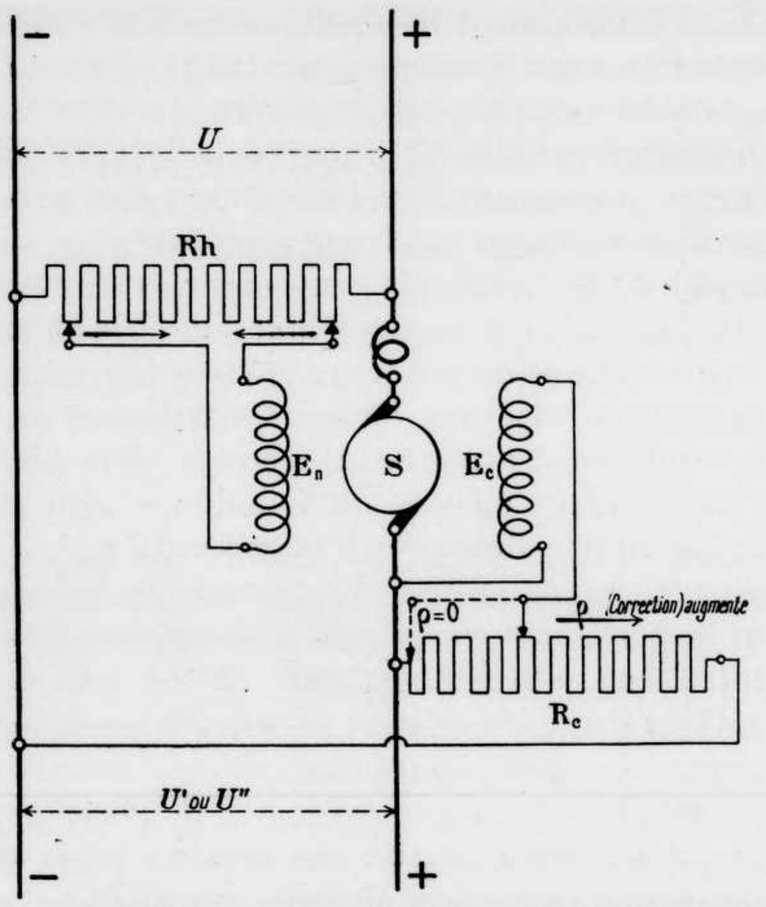


Fig. 3. — Schéma du dispositif de correction de la tension du survolteur-dévolteur alimentant les moteurs de distributeur de charbon ; S, survolteur-dévolteur ; E_n, enroulement d'excitation normale ; E_c, enroulement d'excitation de correction ; R_h, rhéostat potentiomètrique ; R_c, rhéostat de correction.

enroulements d'excitation identiques. L'un, l'enroulement d'excitation normale E_n, branché par l'intermédiaire du rhéostat potentiométrique inverseur asservi à l'allure de la chaudière, est alimenté à partir de la tension constante U de 220 v et parcouru par un courant inducteur de sens et de grandeur variables suivant l'allure (survolteur ou dévolteur), afin de donner une « tension charbon » convenable, assurant la vitesse désirée des moteurs dans le cas du charbon le plus pauvre (6000 calories par kilogramme). L'autre, l'enroulement d'excitation de correction E_c, est branché sur le « rhéostat de correction » R_c, en dérivation sur la tension variable U' ou U'' « charbon » et qui permet, pour toute position définie de son curseur, d'assurer une modification de la tension résultante, valable pour toute la zone de réglage de l'allure de la chaudière. En particulier, il peut donner la correction zéro pour le charbon le plus pauvre lorsque son curseur met l'enroulement d'excitation correspondant en court-circuit (position zéro). En effet, le survolteur-dévolteur travaillant dans la partie droite de la caractéristique

d'induction magnétique, les forces électromotrices aux bornes de cette machine sont proportionnelles aux ampères-tours résultants d'excitation. D'autre part, et pour des raisons développées plus loin, la courbe normale, sans correction, de la « tension charbon » en fonction de la course du curseur de réglage est une droite (fig. 4) dont l'équation est

$$Y = ax + b,$$

avec $b = 65$ v et x représentant l'allure de la chaudière et, par conséquent, la position du curseur du rhéostat asservi.

Toute correction amenant la courbe représentative de la « tension charbon » à suivre une nouvelle fonction

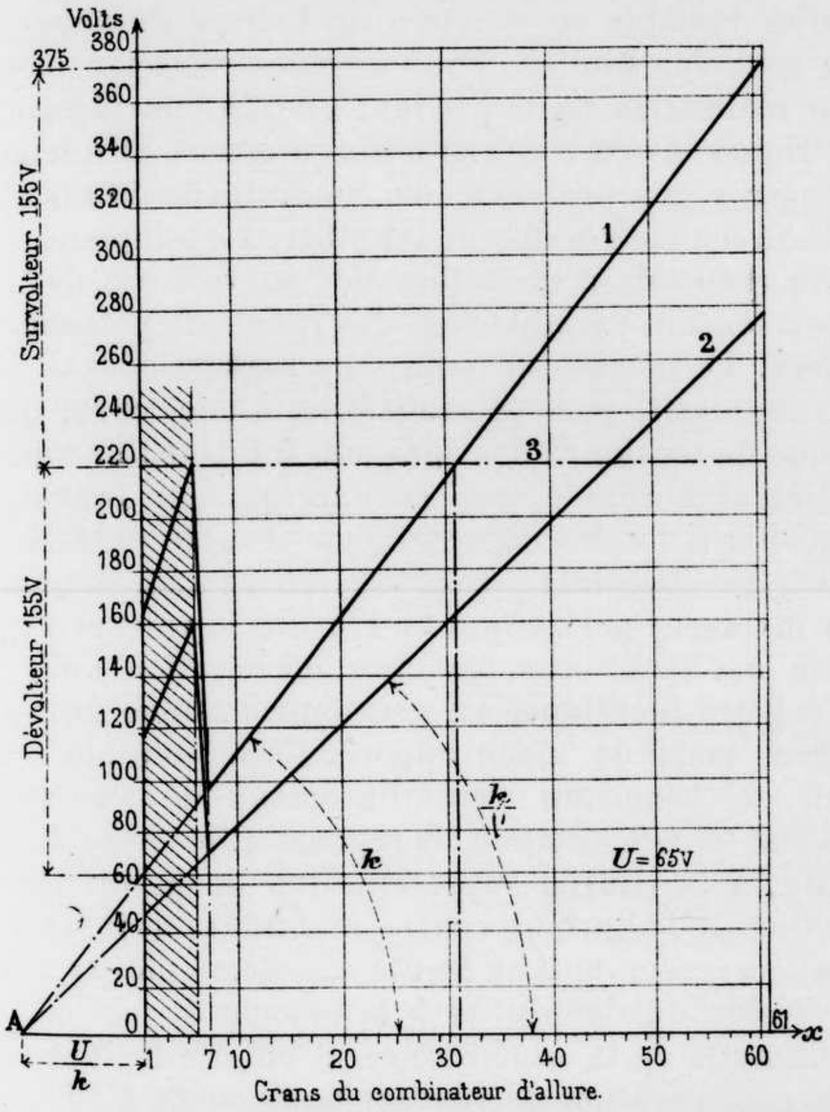


Fig. 4. — Courbes de la tension du survolteur-dévolteur alimentant les moteurs des distributeurs de charbon, en fonction de la position du combinateur d'allure : 1, sans correction; 2. avec correction; la ligne 3 correspond à la tension constante de 220 v.

de x et faisant ainsi varier la vitesse des moteurs de distributeurs de charbon dans le rapport inverse des pouvoirs calorifiques des qualités de charbon utilisé devra être également une droite pour que la correction apportée soit valable sur toute la zone de réglage.

La solution électrique adoptée respecte cette condition (pour les forces électromotrices tout au moins) car on a, sans correction,

$$U' = U + ki, \qquad (1)$$

i étant le courant d'excitation.

Avec une correction ρ introduite par le rhéostat R_c on a

$$U'' = U + k\,(i + i'),$$

les courants i et i' étant comptés algébriquement avec leurs sens relatifs, avec $i' = \rho\, U''$,

ce qui donne $\quad U'' = U + k\,(i + \rho\, U'')$

et conduit à

$$U'' = \frac{U + ki}{1 - k\rho} = \frac{1}{\rho'}\,(U + ki), \qquad (2)$$

avec

$$\rho' = 1 - k\rho;$$

or, i, directement proportionnel à la position du curseur du rhéostat asservi, peut être pris comme variable indépendante caractéristique de la position de ce curseur et, par conséquent, de l'allure de la chaudière, ce qui montre que la fonction U'' (tension charbon) reste bien après correction par le rhéostat R_c (fig. 3) une droite d'équation caractéristique

$$U'' = \frac{1}{\rho'}\,(kx + U),$$

dont le coefficient angulaire $\frac{k}{\rho'}$ est égal au coefficient angulaire k de la fonction initiale (1),

$$U' = kx + U,$$

multiplié par le facteur de correction $\frac{1}{\rho'}$ résultant du rapport inverse des pouvoirs calorifiques du charbon le plus pauvre au nouveau charbon utilisé.

Notons enfin que les droites représentatives des deux fonctions coupent l'axe des x en un même point A d'abscisse $x = -\frac{U}{k}$, ce qui indique que le rhéostat de correction R_c permet de faire tourner la droite représentative des tensions résultantes autour d'un point situé sur cet axe.

Ce développement nous a paru intéressant, car le procédé doit pouvoir se prêter à un certain nombre d'applications pratiques.

Signalons que l'enroulement de correction est utilisé de manière qu'il fournisse toujours les ampères-tours d'excitation dans le sens de la diminution de la tension du réseau. Cette considération doit être notée, son inobservation pouvant fausser les résultats au cas où les ampères-tours additionnels arriveraient à faire atteindre à la courbe $E = f(i)$, caractéristique du survolteur-dévolteur, le point très net d'inflexion du coude.

Notons que cet appareil peut recevoir des graduations arbitraires n^{os} 1, 2, 3, etc., qui correspondent, une fois pour toutes, à des qualités usuelles de charbon. Il suffit à l'opérateur chargé de la conduite de la

chauffe de savoir qu'il est momentanément utilisé du charbon de telle qualité pour ajuster rapidement le rhéostat de réglage R_c

3° *Moteurs du ventilateur d'air primaire.* — Ces moteurs dont les vitesses extrêmes sont dans les rapports de 1 à 1,7 ou 1,8, ont pu être prévus à variation de vitesse par le champ et la courbe de réglage à laquelle ils sont asservis n'offre rien de particulier si ce n'est le point singulier de la courbe de vitesse.

2. Considérations sur le point singulier de la courbe de vitesse. — Pour les raisons exposées au paragraphe 2 du programme d'ensemble, l'alimentation en charbon aux faibles allures de la chaudière est assurée par un seul moteur de distributeurs. Cette nécessité impose une discontinuité dans la courbe de tension et dans la vitesse du moteur d'air primaire. Les courbes de la figure 5 donnent l'allure des fonctions représentatives de ces variations en prenant pour variable indépendante l'allure de la chaudière. Ces discontinuités de vitesse des moteurs des distributeurs de charbon et d'air primaire auraient conduit, sans précautions spéciales, à des appels momentanés de courant exagérés dans l'induit des machines. On a dû, afin d'éviter cet inconvénient, prévoir la réinsertion momentanée des résistances de démarrage en série avec l'induit, à l'instant de la brusque variation de tension appliquée pour les moteurs de charbon ou du courant d'excitation, pour les moteurs d'air primaire.

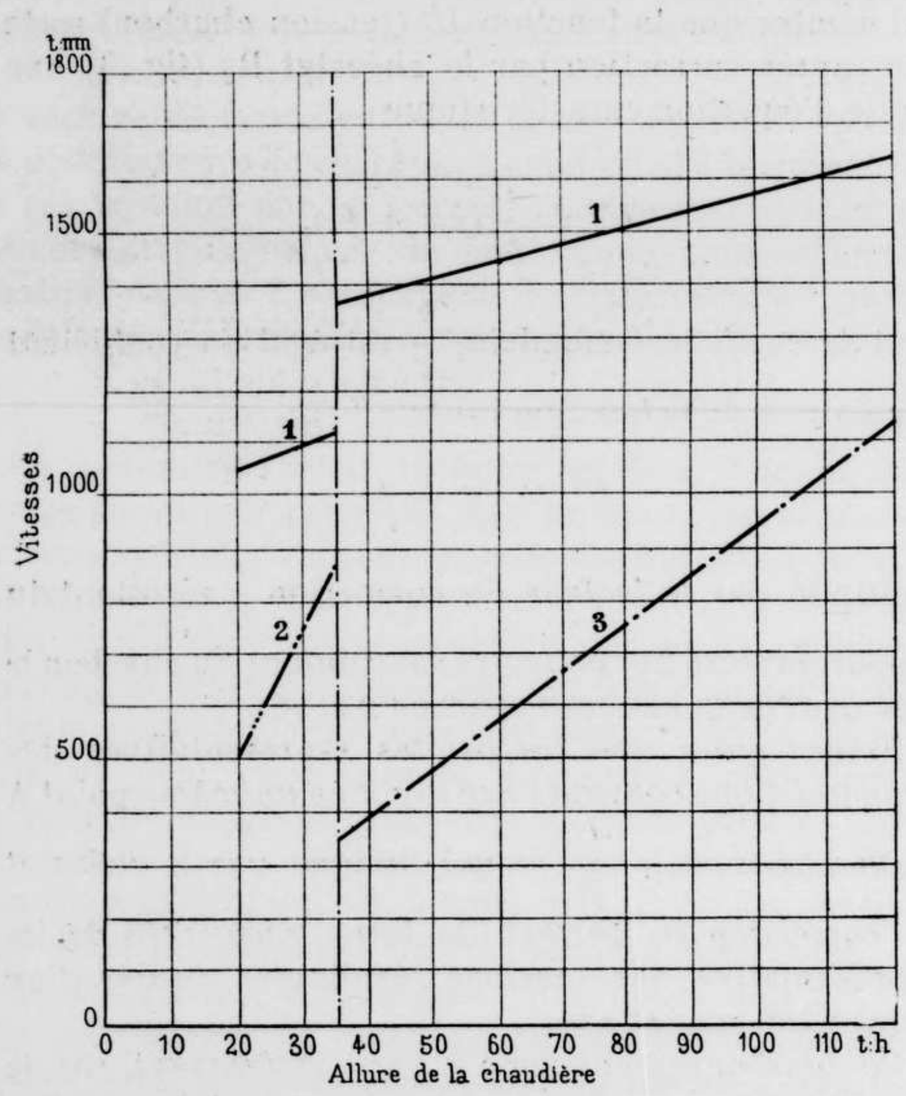


Fig. 5. — Courbes des vitesses en fonction de l'allure de la chaudière ; 1, du moteur du ventilateur d'air primaire; 2, du moteur des distributeurs centraux de charbon ; 3, des trois moteurs de distributeurs de charbon.

Cette considération a conduit à réaliser la mise en service des moteurs des distributeurs de charbon et du ventilateur d'air primaire par des démarreurs automatiques déclenchés en dehors de toute intervention manuelle, pendant un court instant lors du passage de la marche caractérisée par l'emploi d'un seul moteur à celle utilisant les trois moteurs. Par la même occasion, l'organe mobile réalisant cette condition met en fonctionnement les deux moteurs des distributeurs de charbon extrêmes, également par le jeu de démarreurs automatiques.

3. Choix de la courbe d'allure de vaporisation en fonction de la tension des circuits a tensions variables. — Les courbes représentatives de la tension des circuits à tension variable en fonction de l'allure de vaporisation sont des droites. Nous devons préciser ce point, cette réalisation ne dépendant que de considérations électriques, d'ordre constructif seulement, absolument étrangères au problème de conduite de la chauffe, mais qu'il a été possible et avantageux d'adopter.

Les rhéostats d'excitation des survolteurs des circuits à tension variable sont des rhéostats potentiométriques. Le nombre de points de réglage adopté, soit 61, conduisait, pour la réalisation d'une courbe quelconque de tension, à des appareils à 61 positions qui se révélèrent à l'étude trop encombrants en égard aux dispositions locales déjà arrêtées. Il a été possible de choisir des rhéostats à 30 prises reliées à un commutateur inverseur permettant de fournir 30 valeurs d'excitation dans un sens, un cran d'excitation nulle, et 30 valeurs identiques en grandeur absolue aux premières, mais de signe opposé. Cette solution diminuait de beaucoup l'encombrement de l'ensemble rhéostat et commutateur de réglage. Elle imposait, par contre, à la courbe représentative de la tension en fonction de l'allure un centre de similitude inverse au point correspondant au trente et unième plot réalisant l'inversion du rhéostat et à la tension de 220 v (excitation nulle de la génératrice). Il eût été logique sans cette considération de réaliser une courbe d'allure de la chaudière en fonction de la position du rhéostat de réglage représentée par une droite. En traçant cette droite, puis en la transformant, compte tenu des allures théoriques correspondantes des moteurs des ventilateurs de tirage et d'air secondaire, en une courbe de l'allure de la chaudière en fonction de la tension variable principale, on a pu constater que cette courbe ne contenait aucun centre de similitude ni point d'inflexion. C'était dans les limites considérées une courbe à allure parabolique, offrant une flèche d'ailleurs faible et à concavité dirigée vers l'axe des x.

Dans ces conditions, la courbe de tension réalisable en fonction de l'allure se rapprochant le plus de cette courbe idéale était une droite (A sur la figure 6) et cette solution a été adoptée, toute autre courbe présentant inévitablement un point d'inflexion au centre de similitude que nous venons d'indiquer.

4. Courbe de réglage donnant l'allure de la chaudière en fonction de la position de l'organe de réglage. — En transformant la droite représentative des variations de l'allure en fonction de la tension (A en figure 6) à l'aide des courbes représentatives des vitesses des ventilateurs de tirage et d'air secondaire aux diverses allures on a obtenu la courbe B de la figure 6 donnant l'allure de la chaudière en fonction de la position de l'organe de réglage (rhéostat de tension variable). Cette

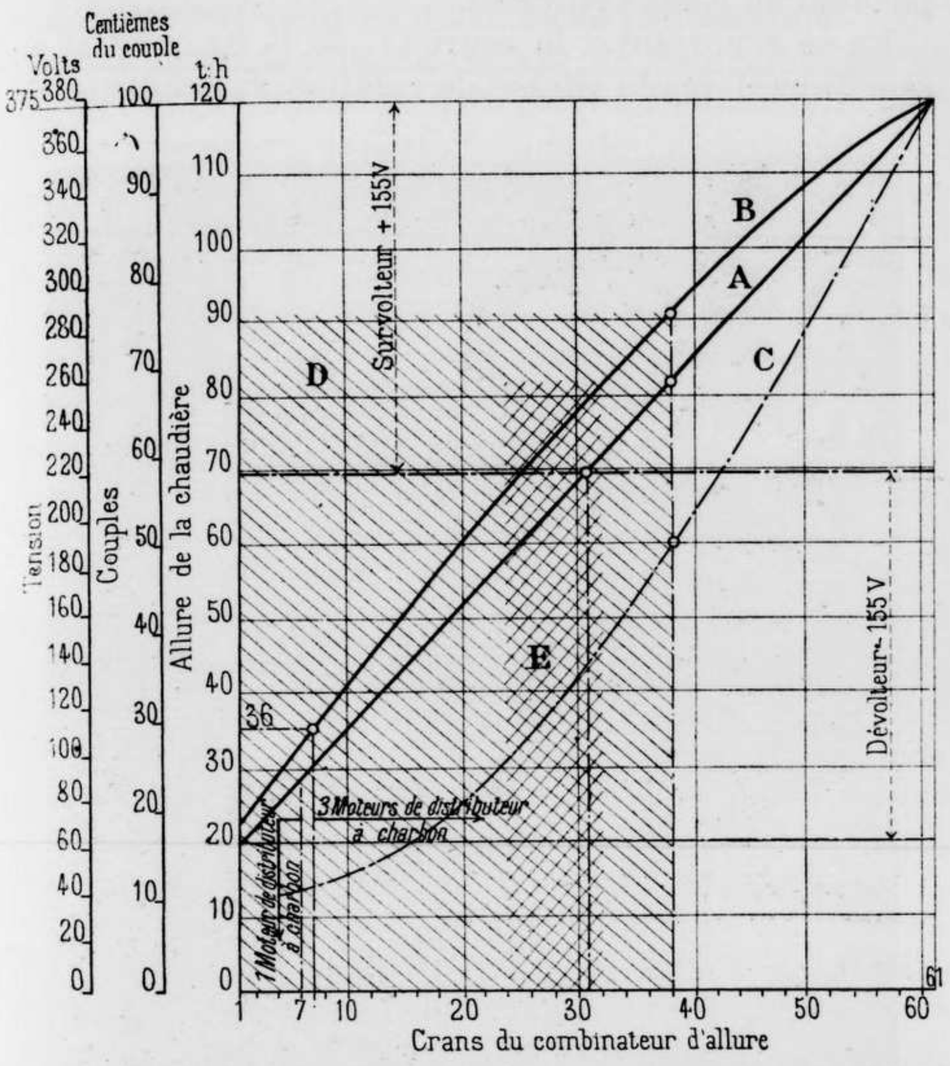


Fig. 6. — Courbes représentant, en fonction de la position du combinateur d'allure : A, la tension variable principale ; B, l allure de la chaudière, en tonnes de vapeur à l'heure ; C, le couple résistant des ventilateurs, en centièmes du couple maximum ; D est la zone de fonctionnement possible avec un seul moteur et E, la zone des fonctionnements économiques.

courbe fut trouvée satisfaisante ; en particulier elle augmente la sensibilité du réglage possible aux allures élevées, ce qui est une circonstance plutôt favorable, et présente une courbure presque nulle aux environs de la marche économique, c'est-à-dire 70 à 80 t à l'heure, ce qui correspond aux conditions qui auraient été réalisées par la solution théorique pure. Le tracé de cette courbe a permis la graduation du rhéostat de réglage d'air primaire en permettant de fixer les valeurs de la tension d'excitation correspondant, pour ce moteur, aux diverses valeurs de la tension d'excitation des génératrices des circuits à tensions variables.

5. Combinateur d'allure. — Le mode de variation des différentes grandeurs électriques susceptibles de concourir au réglage de la chaudière étant ainsi fixé, il restait à coordonner les moyens d'action sur ces variables pour qu'elles soient simultanément assujetties à la volonté de l'opérateur conduisant la chauffe et toutes, asservies synchroniquement à la seule manœuvre des tirettes de réglage « plus vite », ou « moins vite ». On a été ainsi conduit à la création du combinateur général d'allure dont l'aspect est représenté en figure 7.

Cet appareil doit assurer les fonctions suivantes :

1° Excitation du survolteur-dévolteur de « tension variable principale » (moteurs de tirage et d air secondaire) ;

2° Excitation normale du survolteur dévolteur « tension charbon » (moteurs de distributeurs de charbon) ;

3° Excitation du moteur d'air primaire ;

4° Mise en service (au cran 7) des moteurs des distributeurs de charbon extrêmes ;

5° Déclenchement momentané (en passant du cran 6 au cran 7) des démarreurs automatiques des moteurs

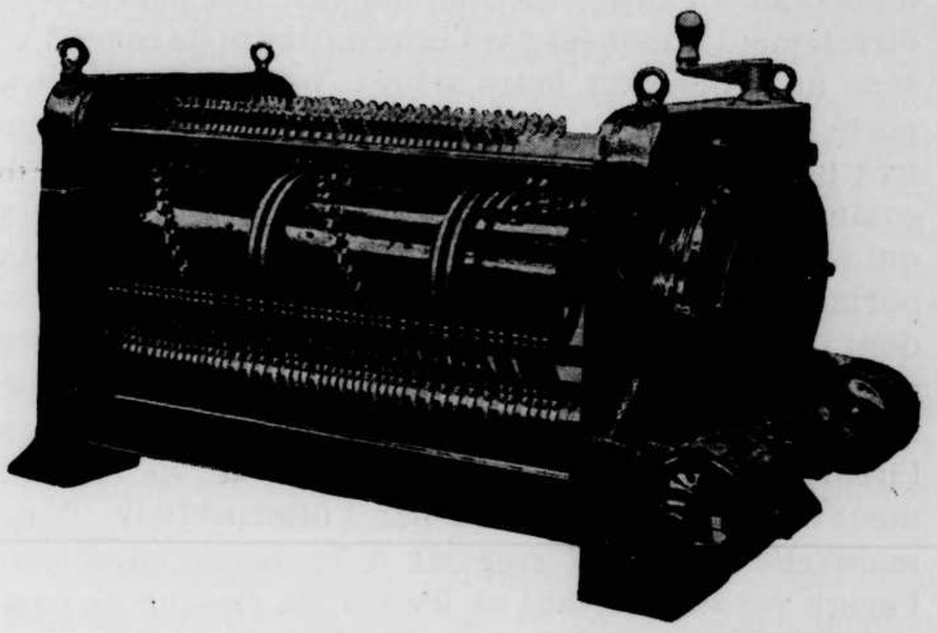


Fig. 7. — Vue du combinateur d'allure de chaudière, à commande par servomoteur.

des distributeurs centraux de charbon et de ventilateurs d'air primaire ; en même temps, fonctionnement dans le sens convenable, suivant le sens de la modification d'allure, des registres d'air primaire relatifs aux moteurs de distributeurs de charbon extrêmes ;

6° Réglage, suivant l'allure, de la résistance de « décalage » des moteurs de tirage (1).

Le combinateur d'allure se compose de deux hélices horizontales dont chacun des tronçons est formé de légers croisillons en laiton supportant un cylindre de tôle roulée sur lequel sont fixés les segments de con-

(1) Les accélérations relatives du moteur de tirage pendant les variations d'allures sont obtenues par insertion momentanée de résistances diminuant d'une faible valeur le courant d'excitation du moteur. Il est logique que, dans toute la zone de réglage, l'accélération relative momentanée de ce moteur soit de l'ordre de celle résultant du passage d'un cran au cran voisin du combinateur d'allure. Une résistance fixe de réglage d'excitation n'aurait pu convenir, car elle aurait assuré un taux constant d'accélération, soit une progression géométrique de la valeur absolue de cette accélération en fonction de l'allure, au lieu d'assurer une accélération constante. C'est cette considération qui a nécessité le fractionnement en plusieurs éléments de la résistance de décalage du tirage. Ces éléments sont successivement mis en service par le combinateur d'allure.

tacts. Les doigts de contact, même pour les plus faibles courants, sont formés par des ressorts à lame à forte pression portant une importante masselote en cuivre étiré demi-dur assurant, avec le coefficient de sécurité indispensable, la liaison, aux instants voulus, des divers circuits de commande par l'intermédiaire des segments des hélices mobiles. Le montage des doigts sur leurs supports isolants est effectué de la manière habituellement adoptée pour tous les combinateurs industriels.

La graduation des rhéostats potentiométriques et l'interposition de résistances de décharge importantes en parallèle avec les inducteurs des machines a permis de faire les commutations de circuits à forts coefficients de self-induction sans production d'arcs nuisibles. Cette considération très importante n'a nécessité aucun mécanisme délicat de soufflage ou de passage brusque d'un cran à l'autre du combinateur. Les hélices sont directement attaquées par l'intermédiaire de roues à vis sans fin, calées sur leurs arbres, par un axe vertical porté par le flasque en fonte de l'appareil. Ce flasque très largement calculé supporte les servomoteurs de commande, au nombre de deux (dont un de secours) qui peuvent entraîner directement un arbre horizontal portant une vis sans fin d'attaque de l'arbre vertical dont il est question ci-dessus. Cette commande se fait par un plateau à friction évitant les élévations anormales du couple du servomoteur et permettant, malgré l'irréversibilité de la transmission par vis, la manœuvre éventuelle à main par l'intermédiaire d'une manivelle que peut recevoir à sa partie supérieure l'arbre vertical sortant au-dessus du flasque de commande. Tout le mécanisme précité est enfermé dans un carter étanche se rapportant sur le bâti principal.

L'arbre vertical de manœuvre du combinateur entraîne un interrupteur de verrouillage, qui permet la commande plot par plot de l'appareil par son servomoteur. L'avance d'un cran du combinateur nécessite la rotation d'un tour de l'arbre vertical. A chaque tour de cet arbre, l'interrupteur de verrouillage se trouve mécaniquement coupé.

Au-dessus de l'appareil, et protégées par un capot en tôle perforé, ont été placées les diverses résistances d'excitation et de réglage mises en circuit par l'appareil (fig. 8). On a pu réduire ainsi au minimum la longueur des connexions multiples.

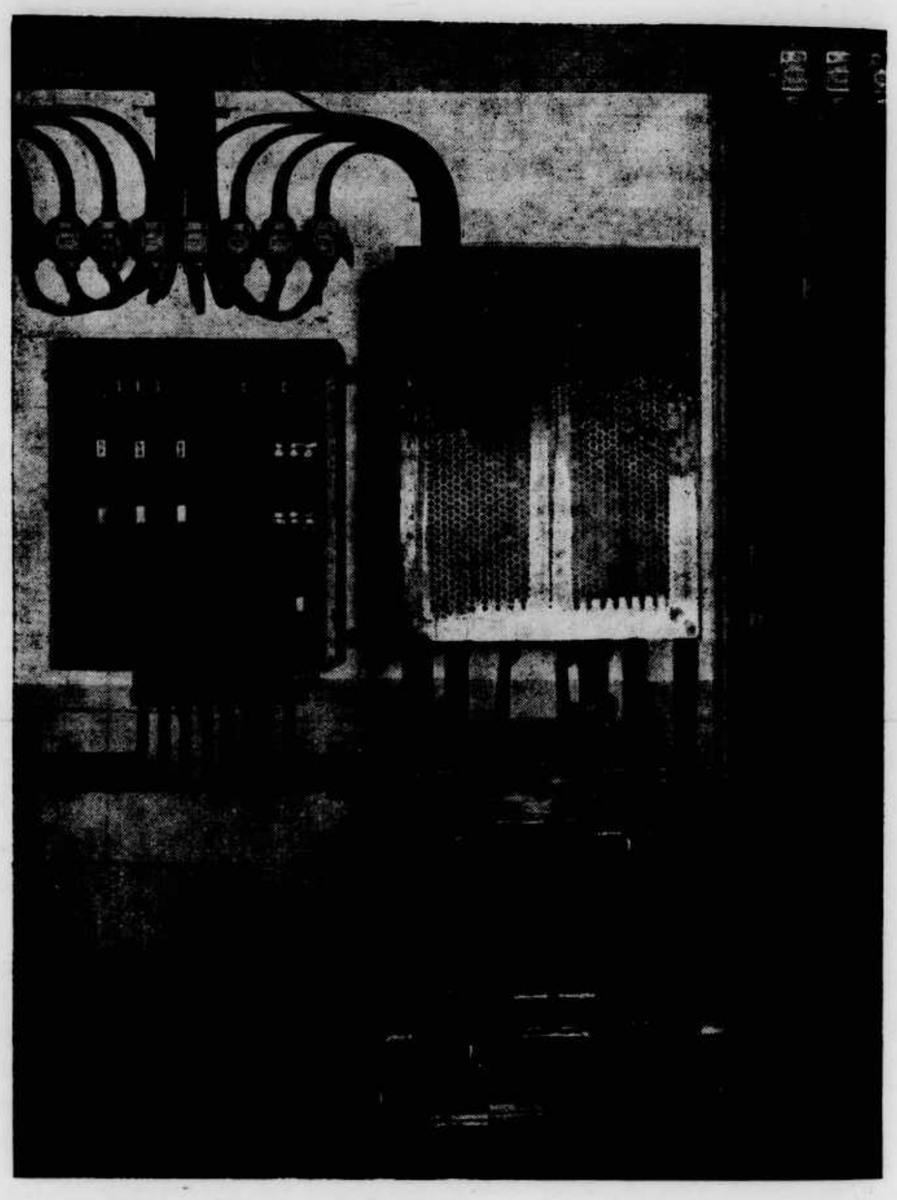


Fig. 8. — Vue du combinateur d'allure installé dans la salle des survolteurs-dévolteurs à l'usine d'Issy-les-Moulineaux. Les résistances de réglage sont placées au-dessus de l'appareil et le panneau de contrôle automatique est visible à gauche.

V. **Dispositifs de sécurité**. — Dans toutes les grandes exploitations industrielles où la continuité du service est un facteur vital (grosse métallurgie, services auxiliaires des usines génératrices, etc.), le souci de la possibilité d'une réparation rapide en cas d'avarie à une machine en service est une des préoccupations les plus importantes parmi celles qui doivent orienter les d'études d'établissement. La préoccupation de ménager ce facteur a conduit, dans le cas qui nous intéresse, à l'adoption du système décrit ci-après.

Par suite de l'allure du couple résistant des machines à actionner, $C = k n^2$ (ventilateurs), le couple demandé se maintient à une valeur inférieure à la moitié du maximum prévu jusqu'à une vitesse assez voisine de l'allure optimum de pointe. Cette vitesse définie mathématiquement et exprimée en fonction de la vitesse maximum des moteurs est

$$n = \frac{N}{\sqrt{2}} = 0{,}707\ N$$

(N étant la vitesse maximum et n, la vitesse correspondant au couple efficace).

En se reportant à la courbe C de la figure 6 et en remarquant que la vitesse de rotation des moteurs est proportionnelle, aux chutes de tension près, à la force électromotrice des circuits à tension variable, on voit que la tension $365 \times 0{,}707$, soit 258 v, correspond encore à une allure de la chaudière de 90 t : h de vapeur environ.

Ces considérations ont permis de juger convenable le fractionnement en deux machines identiques de la puissance totale calculée pour chaque moteur. Ces deux moteurs sont accouplés de part et d'autre des ventilateurs et donnent, en réalité, l'avantage de posséder pour chacun de ceux-ci deux moteurs distincts (et ce jusqu'à une vitesse supérieure à celle correspondant à l'allure économique de la chaudière)

La nécessité d'une marche en parallèle de deux moteurs rigidement accouplés sur un même arbre a conduit à quelques précautions constructives pour ces machines. Elle ont été prévues avec deux circuits de compoundage distincts, l'un additif, l'autre soustractif. L'induit de chaque machine est monté en série avec son propre circuit de compoundage et celui inverse de l'autre moteur accouplé avec lui. De cette façon, les répartitions des charges à toutes les allures sont automatiquement assurées d'une façon satisfaisante.

Pour la commodité du réglage de l'ensemble par un seul rhéostat (rhéostats de réglage additonnels) et pour éviter une source de perturbation du fonctionnement en parallèle par le fait d'échauffements inégaux des inducteurs shunt, les excitations dérivées de deux moteurs sont montées en série sous la tension constante de 220 v. De la sorte, l'étalonnage de l'identité des vitesses ayant été fait une fois pour toutes par résistances en parallèle avec l'inducteur du moteur ayant tendance à tourner le plus lentement, les courants d'excitation se maintiennent dans le rapport voulu, quel que soit l'échauffement des machines.

Les dispositions ci-dessus ont nécessité l'établissement d'un poste de sectionnement pour mise hors service de l'un ou l'autre des moteurs en cas d'avaries. Cette mise hors service impose naturellement la mise hors circuit des enroulements de compoundage de la machine restant alimentée et la substitution d'une résistance convenable en série avec son inducteur shunt, à la place de l'inducteur de la machine hors circuit.

Le dispositif de sectionnement utilisé nécessite un interrupteur tripolaire à double direction sur le circuit principal de chaque moteur et un interrupteur bipolaire à deux directions pour les circuits d'excitation dérivés. L'ensemble de ces interrupteurs a été groupé pour une même chaudière dans une armoire générale de sectionnement disposée à proximité des machines à l'étage des ventilateurs.

Une des particularités offertes par l'ensemble du système de contrôle que nous décrivons réside dans les larges possibilités dont on dispose pour éviter l'immobilisation d'une unité quelconque de l'installation par suite d'un incident purement électrique.

La marche en parallèle de plusieurs générateurs est réalisée par la possibilité de faire débiter en parallèle sur un jeu de barres, à « tension variable », plusieurs survolteurs-dévolteurs, les moteurs auxiliaires des chaudières à coupler étant alors branchés sur ce même jeu de barres. En marche normale, chaque générateur est alimenté par un survolteur-dévolteur propre. En cas de panne de l'un des survolteurs, une marche croisée est possible, en faisant débiter l'un quelconque des groupes momentanément inutilisés pour alimenter les services de n'importe quelle chaudière.

Enfin, en ce qui concerne les dispositifs de sécurité affectés à la protection des moteurs, nous dirons seulement qu'étant donné l'importance du service, on a uniquement jugé convenable de protéger les machines par des relais à maximum de courant instantanés, réglés pour un courant largement supérieur à celui du régime de pleine charge et provoquant l'arrêt de l'ensemble des moteurs d'une chaudière lors d'un accident grave survenant sur l'un quelconque des moteurs. Ces relais sont pourvus d'un dispositif mécanique de signalisation permettant la localisation immédiate du défaut après déclenchement et la mise rapide hors circuit du moteur défaillant, grâce à l'appareillage de l'armoire de sectionnement, si les nécessités du service obligent à maintenir la chaudière allumée. Pour les surcharges des moteurs inférieures à la valeur de déclenchement des relais instantanés, il y a lieu de supposer qu'elles doivent provenir d'un incident d'ordre mécanique. Il n'a été prévu aucun système de déclenchement par relais à action différée. La présence constante d'un ou plusieurs opérateurs au poste de chauffe permet de compter, ainsi d'ailleurs que cela résulte de la consigne donnée, que l'examen des ampèremètres des tableaux suffira à déceler toute cause anormale de fonctionnement de ce genre par la discordance de la lecture des intensités des courants débités sur les divers circuits avec la moyenne des intensilés normales résultant de l'allure de fonctionnement.

VI. **Le circuit distributeur d'impulsions.** — La dernière particularité que nous désirons signaler en ce qui concerne les dispositifs élémentaires de commande électrique est constituée par le circuit distributeur d'impulsions.

Il a été demandé au programme général de limiter la cadence possible de variation de l'allure. La condition imposait le choix d'un organe chronométrique de fonctionnement sûr, suffisamment précis, au point de vue industriel bien entendu, d'une robustesse à toute épreuve et toujours prêt à fonctionner. Cette dernière considération a conduit, étant donné le coefficient de diversité que peuvent présenter les divers réglages à effectuer sur cinq chaudières allumées séparément en marche indépendante, au choix d'un appareil unique intervenant dans le fonctionnement de l'ensemble de l'installation et toujours en fonctionnement.

La commande générale de variations d'allure est asservie à un circuit général d'impulsions, sur lequel sont branchées toutes les tirettes de commande « moins vite » ou « plus vite » des diverses chaudières. On fait dans ce circuit une émission de courant pendant un temps d'une demi-seconde environ à intervalles réguliers. Cette impulsion est signalée sur tous les tableaux de générateurs par l'allumage d'une lampe témoin. L'opérateur actionne la tirette convenable et attend l'allumage de la lampe d'impulsions. Aussitôt l'éclat disparu, la manœuvre désirable est accomplie et les appareils de contrôle permettent de le vérifier.

Décrivons succinctement l'organe émetteur qui veille inlassablement afin d'éviter toute fausse manœuvre due à l'inattention possible du chauffeur électricien. Contrairement, en effet, à ce qui a été admis depuis que l'homme a su asservir ce moyen redoutable de transformation d'énergie, la vapeur, la Compagnie

parisienne de Distribution d'Electricité emploie au poste central de chauffe, pour la conduite de ses foyers, des chauffeurs électriciens au lieu du traditionnel chauffeur mécanicien. Cette seule considération, aussi bizarre que cela puisse paraître, aurait suffi, tout au moins au début de l'exploitation des nouvelles chaufferies, à justifier l'emploi du circuit d'impulsions. En effet, les agents habituellement chargés de la surveillance des tableaux des usines génératrices ou des sous-stations ont toujours eu l'habitude de voir immédiatement obéir leurs appareils de mesures après réglage des rhéostats ou commutateurs divers. Il n'en est plus ainsi avec l'inertie des fluides (eau et vapeur) et le grand volant d'énergie que représentent les importantes chaudières de l'usine d'Issy-les-Moulineaux et les tuyauteries correspondantes. Le nouveau chauffeur, bien que naturellement prévenu et ayant saisi la différence essentielle entre les deux systèmes de réglage, avait, par déformation professionnelle, si l'on peut dire, et par suite de réflexes acquis de longue date, tendance à modifier trop rapidement les réglages des chaudières. Cette tendance était par surcroît accentuée du fait de l'extrême simplicité de la manœuvre (action sur une tirette); tout ceci pour montrer un aspect des considérations nouvelles avec lesquelles il a fallu compter au cours des études qui ont été, jusqu'à un certain point, tributaires de facteurs psychologiques.

Le distributeur d'impulsions est constitué par un petit moteur électrique à excitation shunt, alimenté directement par le réseau à 220 v et qui entraîne à travers un réducteur de vitesse à vis sans fin le tambour isolant d'un commutateur portant un segment de cuivre rouge serti et embrassant une portion de sa circonférence. Sur le cylindre du commutateur frottent deux doigts de combinateur d'un type courant, l'un connecté directement à la source à 220 v, l'autre alimentant la bobine d'attraction d'un relais très robuste commandant les émissions du circuit d'impulsions. Le temps de rotation d'un tour du commutateur définit la période entre deux émissions du circuit. Afin de se ménager les plus larges possibilités de réglage pour un fonctionnement dans les meilleures conditions, on a poussé le soin jusqu'à donner une forme triangulaire au segment de cuivre serti dans le tambour isolant. Les doigts de contact peuvent être réglés latéralement sur une génératrice du fait qu'ils sont montés sur un curseur à vis pouvant se déplacer parallèlement à l'axe du commutateur. Il est ainsi possible, en réglant la position des doigts sur la génératrice du tambour, de faire varier la durée relative de l'émission du courant dans la période séparant deux impulsions. Le réglage de la durée de la période s'effectue par réglage rhéostatique sur l'induit du petit servomoteur. Le panneau portant l'ensemble a reçu à cet effet un commutateur de réglage et les résistances correspondantes. L'ensemble forme un tout robuste qui a assuré depuis plusieurs mois un service satisfaisant. L'installation comporte évidemment deux appareils dont un de secours. Ceux-ci peuvent successivement être immédiatement mis en service par simple manœuvre d'un interrupteur à deux directions placé sur le tableau général. La figure 9 montre une vue du dispositif.

VII. **L'ensemble du schéma**. — 1. Examen détaillé. — La figure 10 donne un schéma simplifié de l'ensemble de l'installation. Les appareils permettant la mise en service et le réglage des groupes survolteur-dévolteur des circuits à tensions variables, sont groupés sur un tableau « survolteur-dévolteur », comportant un panneau par groupe (et en principe par chaudière). Ce tableau exclusivement affecté aux survolteurs-dévolteurs comprend encore tous les appareils de mesure nécessaires à la surveillance du fonctionnement de ces machines.

Le groupe survolteur A se compose d'un moteur B, d'un survolteur C pour les moteurs de ventilateurs de tirage et d'air secondaire (tension variable principale) et d'un survolteur D pour les moteurs de distributeurs de charbon avec ses deux enroulements d'excitation (tension variable auxiliaire).

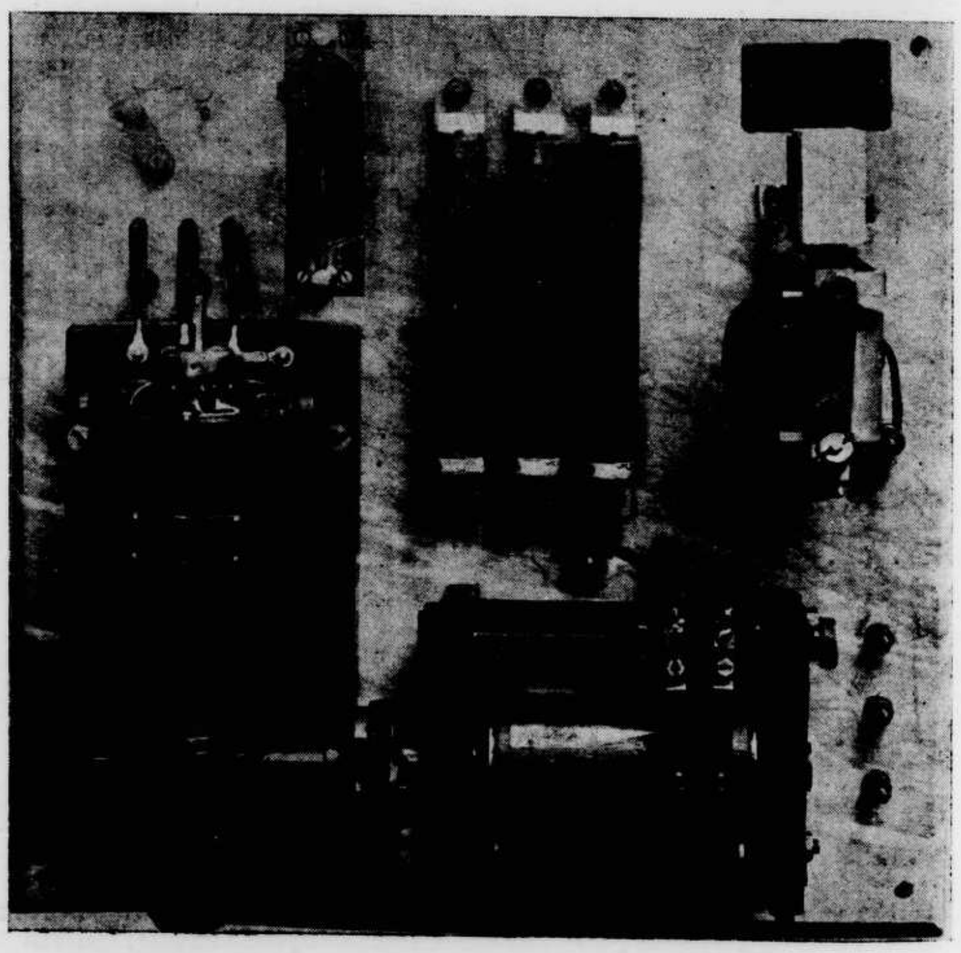


Fig. 9. — Vue du distributeur d'impulsions.

Le tableau des générateurs comprend tous les appareils nécessaires à la mise en route et au réglage des moteurs auxiliaires des chaudières.

En plus, et non figurés sur le schéma, existent les appareils de mesure nécessaires et un indicateur de la position du combinateur général d'allure de vaporisation.

En dehors de ce tableau des générateurs et au poste central de chauffe est installé un tableau de démarreurs automatiques affecté à la mise en service à distance, aux moments voulus, des moteurs de ventila-

teurs d'air primaire et de distributeurs de charbon ; il comporte le démarreur F des moteurs des distributeurs de charbon centraux (mis en service par la fermeture de I_c), le démarreur H du moteur de ventilateur d'air primaire (mis en service par la fermeture de I_{ap}), les démarreurs G des moteurs des distributeurs de charbon extrêmes mis en service aux moments voulus par le déclenchement d'un contact asservi à la manœuvre du combinateur d'allure.

Les appareils ci-dessus sont complétés au poste de chauffe par le dispositif distributeur d'impulsions Y comportant le servomoteur Sm, le rhéostat de réglage

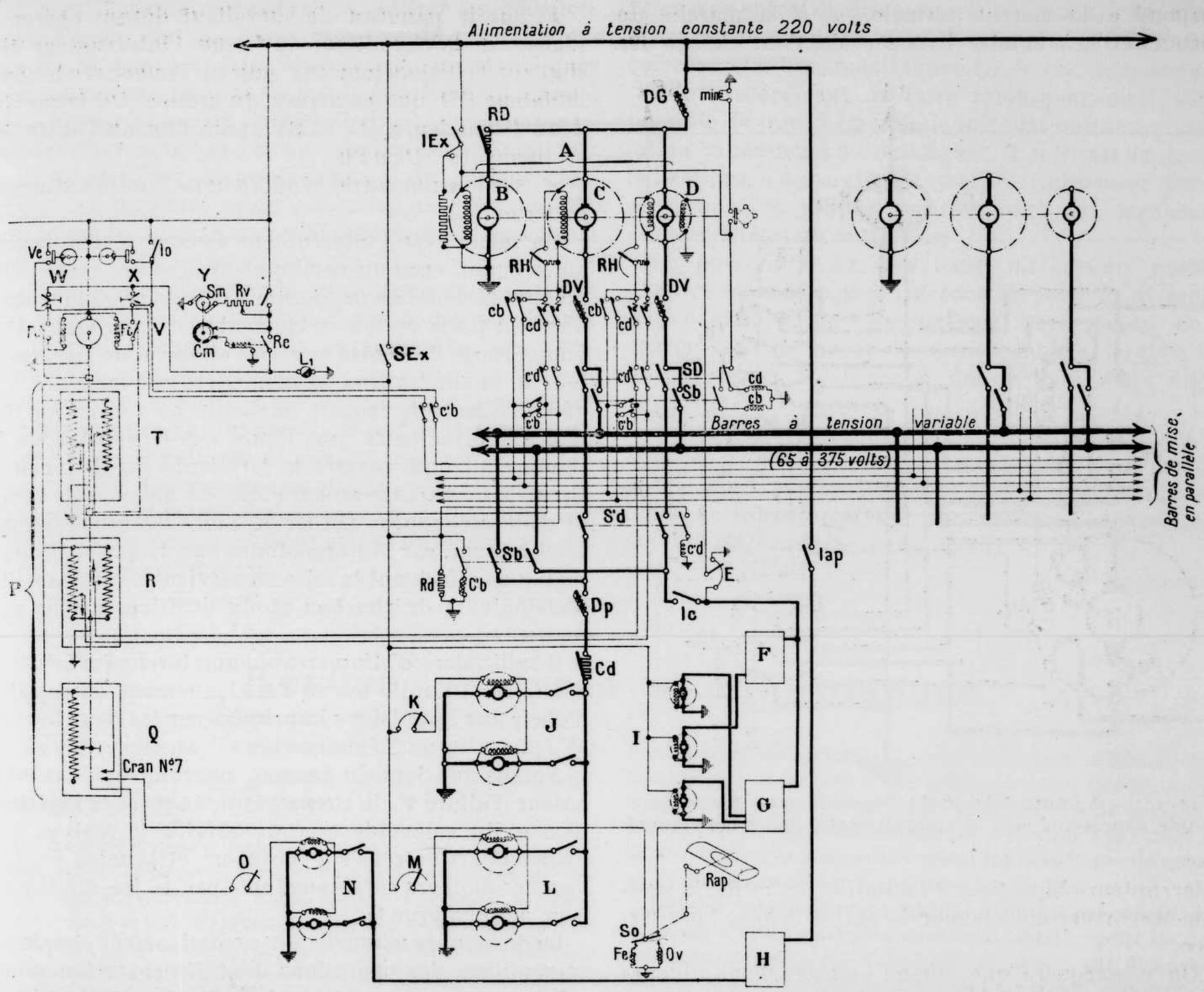


Fig. 10. — Schéma général simplifié de l'installation de réglage électrique à distance d'une chaudière : A, groupe survolteur; B, moteur; C, survolteur des moteurs de ventilateurs de tirage et d'air secondaire; D, survolteur des moteurs de distributeurs de charbon ; E rhéostat d'ajustement de la « tension charbon » ; F, démarreur des moteurs de distributeurs de charbon centraux; G, démarreurs des moteurs de distributeurs de charbon extrêmes; H, démarreur du moteur de ventilateur d'air primaire; I, moteurs de distributeurs de charbon; J, moteur double de tirage; K, rhéostat d'ajustement du moteur de tirage; L, moteur double d'air secondaire; M, rhéostat d'ajustement d'air secondaire; N, moteur double d'air primaire; O, rhéostat d'ajustement d'air primaire; P, combinateur d'allure; Q, rhéostat et commutateur correspondant de réglage de vitesse du moteur d'air primaire; R, résistances et commutateur du survolteur « charbon »; T, résistances et commutateur du survolteur principal; V, servomoteur de commande; W, tirette « plus vite »; X, tirette « moins vite ».

de la vitesse Rv, le commutateur Cm et le relais d'émission Re.

L'ensemble est complété par le combinateur d'allure P placé dans un local situé sous le poste central de chauffe et où sont montés les groupes survolteur-dévolteur.

L'installation permet la commande à distance, du poste central de chauffe, des différents moteurs et appareils placés dans la chaufferie à l'étage des ventilateurs, c'est-à-dire le moteur double de tirage J, le moteur double L d'air secondaire, le moteur double N d'air primaire, les moteurs I des distributeurs de charbon, le solénoïde So double de commande des registres d'air primaire (R_{ap}) avec ses deux bobines Fe (fermeture) et Ov (ouverture).

Les connexions des moteurs doubles ont été simpli-

fiées : en réalité toutes les alimentations arrivent à l'armoire de sectionnement dont il a été question plus haut.

La figure 11 donne le détail des connexions réalisées pour un moteur. Pour chacun des interrupteurs tripolaires de demi-moteur Ip_1 et Ip_2, la position 1 correspond à la marche normale, 2, à la marche de secours et 3, à la mise hors service. Pour chacun des

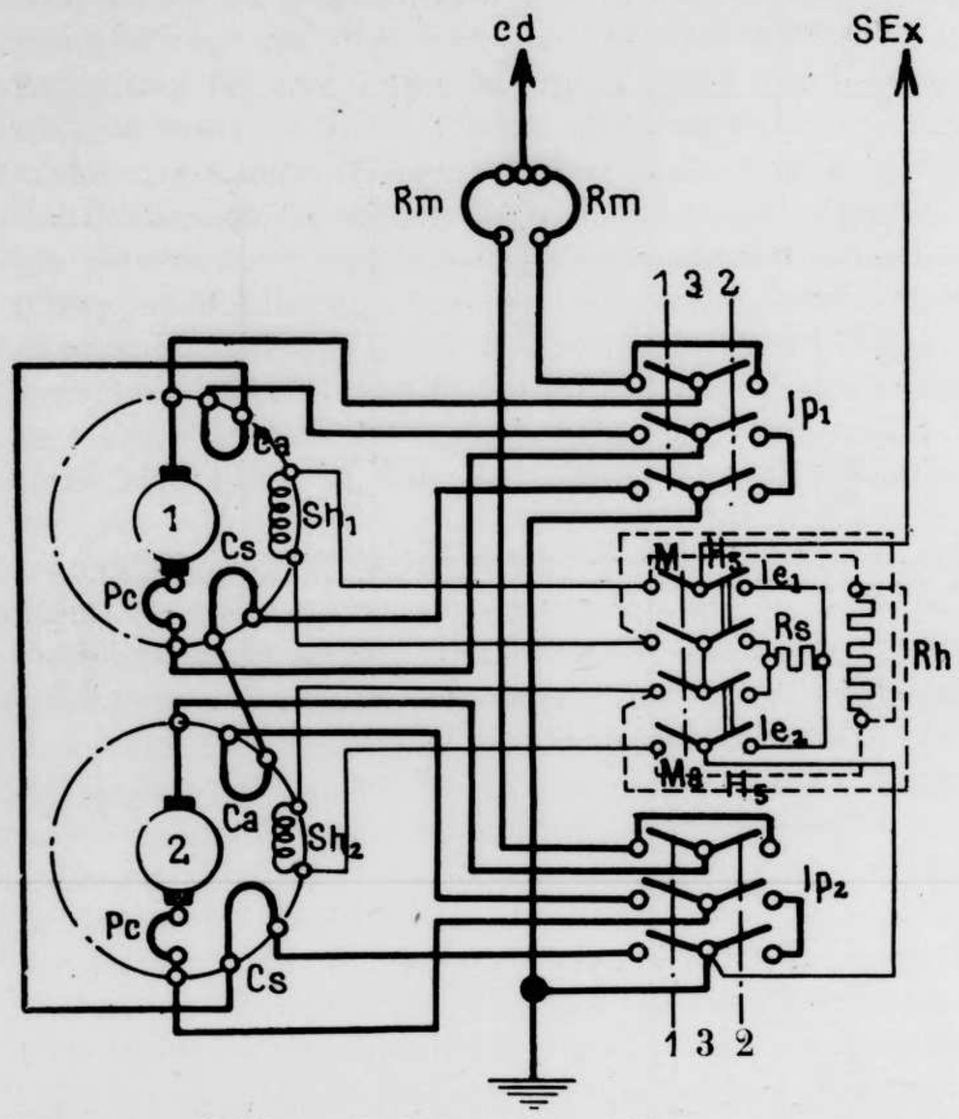


Fig. 11. — Schéma détaillé du dispositif, pour un moteur double représenté en 1 et 2, de l'armoire de sectionnement.

interrupteurs bipolaires d'excitation, Ie_1 et Ie_2, la position Ma correspond à la marche et H_5 à la mise hors service.

On remarquera que, quand l'un des demi-moteurs est hors service (interrupteur Ip dans la position 3 et Ie dans la position H_5) tous les circuits sont sectionnés et on peut travailler sans danger sur la machine détériorée.

L'autre demi-machine peut tourner avec son interrupteur Ip dans la position 2 et les enroulements de compoundage sont hors circuit. La résistance Rs de substitution est en série avec son inducteur shunt, Sh.

La résistance Rh est une résistance d'étalonnage qui équilibre une fois pour toutes des charges des deux machines en cas de légères différences de caractéristiques. Elle est branchée, aux essais, en parallèle avec l'une ou l'autre des excitations shunt Sh.

Notons que les deux interrupteurs Ie_1 et Ie_2 ne doivent jamais être placés simultanément dans la position hors circuit et que les sectionnements de ces interrupteurs doivent se faire à vide, la chaudière étant arrêtée, après incident sur l'un de ses moteurs.

2. Fonctionnement d'ensemble. — Nous pouvons maintenant examiner les manœuvres très simples qui sont nécessaires à la mise en service d'une chaudière et qui peuvent réclamer, avec un personnel exercé et dans le cas le plus défavorable, un maximum de deux minutes.

1° Sur le panneau de survolteur devant opérer le réglage de la chaudière, on ferme l'interrupteur IEx (fig. 10), le disjoncteur DG, puis on manœuvre le commutateur RD de démarrage du groupe. On ferme les deux disjoncteurs DV et DV', puis l'un ou l'autre des sectionneurs SD ou Sb.

2° Sur le panneau de générateur de l'unité à allumer, on ferme SEx.

On manœuvre l'interrupteur Io pour remise rapide au premier cran du combinateur d'allure (cette manœuvre réclame au maximum une minute si le combinateur d'allure était à ce moment au dernier cran). Une lampe rouge de remise au zéro s'allume sous l'interrupteur Io annonçant que la manœuvre est terminée. On démarre alors le moteur auxiliaire de ventilation des moteurs principaux (non figuré sur le schéma de la figure 11) ce qui permet la fermeture du disjoncteur Dp et le démarrage en parallèle des moteurs de tirage et d'air secondaire. On ferme alors les interrupteurs Ic et Iap qui, par l'intermédiaire des démarreurs automatiques, effectuent la mise en service des moteurs des distributeurs de charbon et du ventilateur d'air primaire.

Il suffit alors d'allumer avec une torche les brûleurs centraux et l'unité est en fonctionnement, susceptible d'obéir aux impulsions imprimées sur les deux tirettes W (plus vite) ou X (moins vite).

Notons que lors du passage au cran n° 7 du combinateur d'allure P, le curseur Q provoquera le fonctionnement du solénoïde So (qui ouvrira le registre des distributeurs extrêmes de charbon) et la mise en service des moteurs correspondants par le jeu du démarreur automatique G.

La manœuvre manuelle est excessivement simple, le verrouillage des opérations dont l'interversion pourrait provoquer des incidents est assurée électriquement. D'ailleurs, depuis la mise en service de l'ensemble, aucun démarrage de chaudières n'a donné lieu à incidents.

VIII. **Conclusions**. — Nous avons dit précédemment que la réalisation effectuée devait, dans la mesure du possible, présenter un caractère expérimental. Nous exposons ici les premiers résultats de cette expérience.

La première chaudière a pu être mise à feu dans le courant du mois de mai 1929. Le programme du réglage électrique de la chauffe avait été définitivement arrêté dans tous ses détails seulement au début d'août 1928 et les dernières chaudières ont été mises en route à la fin du mois de septembre 1929. Le système a donc aujourd'hui à son actif toute une campagne d'hiver au cours de laquelle les nouvelles chaufferies d'Issy-les-Moulineaux ont contribué d'une manière très notable à

la production globale de l'énergie absorbée par le réseau de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité.

Le résultat tangible acquis aujourd'hui, est que le système de réglage électrique de la chauffe fonctionne d'une manière tout à fait satisfaisante.

Il serait encore prématuré de chiffrer les bénéfices économiques que l'on peut attendre de l'installation, car ils ne peuvent être dégagés que de statistiques portant sur une période de temps relativement longue, mais nous sommes en mesure de présenter, sans toutefois les interpréter, un certain nombre de constatations:

1° Le système de centralisation du réglage électrique n'a apporté, après une mise au point de très courte durée, aucune source supplémentaire de perturbation à la marche de l'ensemble;

2° Les points visés par le programme de réalisation ont été facilement atteints et l'on sait dès maintenant qu'on peut attendre de la centralisation des commandes de chaufferie les avantages d'une grande souplesse de manœuvre, d'une surveillance possible de plusieurs unités par un personnel restreint, enfin d'une surveillance simultanée et périodique, par un technicien qualifié, des manœuvres effectuées par l'opérateur conduisant plusieurs chaudières. La modification des conditions de fonctionnement en cas de mauvais réglage est extrêmement rapide.

D'autre part, il est facile de réaliser l'exécution de variations moyennes autour d'une charge de base sans modification du régime d'équilibre entre les diverses variations intéressant la combustion. Le rendement se maintient donc constant à la valeur primitivement réglée. Enfin, la possibilité d'une répartition rapide de la charge entre diverses unités permet de maintenir chacune d'elles aussi voisine que possible de l'allure correspondant au fonctionnement le plus économique.

Il est intéressant de faire remarquer qu'il serait possible de transformer cette installation en une installation entièrement automatique ; il suffirait de lier les indications d'appareils de mesure (influencés par la pression de la vapeur, par exemple) aux organes de réglage (rhéostats et tirettes).

La possibilité de maintenir un certain nombre d'unités au voisinage de la zone de rendement économique malgré des fluctuations importantes de la charge reste en faveur de la commande asservie à une interprétation intelligente des lectures des divers appareils.

En tout état de cause, les principaux avantages du système de réglage centralisé par commande électrique à distance sont maintenus, que la commande soit entièrement automatique ou seulement asservie à la volonté d'un opérateur intelligent.

T. Pausert.

Revues, analyses et informations

Convertisseur de fréquence de 35 000 kilowatts constitué par un groupe moteur synchrone et génératrice synchrone (1).

1. Caractéristiques générales du groupe. — Ce groupe, construit par la General electric Company, a été installé à la sous-station Acme, de la Toledo Edison Company, à Toledo (Ohio), dans le but d'établir une liaison entre deux parties du réseau, l'une mettant en jeu une puissance de 90 000 kw fonctionnant la fréquence de 25 p:s, l'autre, d'une puissance de 50 000 kw à 60 p:s. Le groupe comprend cinq machines dont les deux principales sont supportées chacune par deux paliers et accouplées entre elles par deux demi-disques forgés sur chaque arbre.

Les caractéristiques du moteur synchrone (48 672 ch) sont les suivantes : roue polaire, 24 pôles ; puissance apparente, 46 000 kv-a ; système, triphasé ; vitesse angulaire, 300 t : mn ; fréquence, 60 p : s ; facteur de puissance, 0,80 ; tension, 13 500 v. L'inducteur est alimenté par une excitatrice compound à courant continu, de 195 kw sous 230 v, montée en porte à-faux sur l'arbre du moteur.

La génératrice triphasée comporte dix pôles inducteurs ; sa puissance apparente est de 41 176 kv-a (35 000 kw). La vitesse angulaire est de 300 t: mn ; la fréquence, de 25 p : s ; le facteur de puissance, de 0,85 et la tension, de 6 750 v ; l'excitatrice est du même type que la précédente, sauf que sa puissance n'atteint que 155 kw ; elle est aussi montée en bout d'arbre solidairement avec le moteur d'induction de démarrage ; ce dernier a une puissance de 1 622 ch, tourne à la vitesse de 375 t : mn au synchronisme à la tension de 6 750 v. Le poids de l'ensemble est d'environ 560 t dont 160 et 131 t concernent respectivement les inducteurs du moteur et de la génératrice et 82 et 104 t, leur stator.

Chaque unité du groupe est individuellement munie d'un système d'autoventilation en circuit fermé ; pour les deux machines principales, l'air frais est aspiré par des évents percés aux extrémités, tandis que l'air chaud retourne aux réfrigérants par une ouverture pratiquée au fond de la carcasse du stator. Le refroidissement est normalement assuré par de l'eau en pluie tombant dans un tuyau vertical en poterie, qui est traversé par l'air. Les ventilateurs montés sur les rotors doivent assurer un débit de 2 160 m³: mn pour le moteur et de 1 755 m³ : mn pour la génératrice.

Un dispositif permet d'assurer la ventilation sans utilisation du réfrigérant.

2. Caractéristiques électriques. — Le rôle normal dévolu au groupe est de convertir l'énergie à la fréquence de 60 p : s en énergie à la fréquence de 25 p : s ; dans ce cas, ses constantes sont celles qui ont été indiquées plus haut. Pour l'opération inverse, c'est la machine dénommée ci-dessus génératrice qui est alimentée par le réseau à 25 p:s et peut développer une puissance apparente de 41 176 kv-a avec un facteur de puissance de 0,87; l'autre fournit alors une puissance de 45 333 kv-a avec un facteur de puissance de 0,75 et une fréquence de 60 p : s. L'auteur remarque

(1) I.-A. Terry. *General electric Review*, août 1930, t. xxxiii, p. 476-480, 4 000 mots, 10 figures.

qu'il est facile d'accroître le débit dans un sens ou dans l'autre simplement en améliorant le facteur de puissance.

Des thermomètres à résistance, noyés dans la masse du stator, indiquent que, quel que soit le sens de fonctionnement, la température des enroulements ne dépasse jamais 60° C, la température ambiante étant supposée égale à 40° C; quant au rotor, on n'a jamais constaté de température supérieure à 80° C, celle-ci étant déterminée d'après la variation de résistance de l'enroulement.

Si les machines sont confinées à leur rôle normal de convertisseurs de fréquence, elles peuvent supporter, pendant une minute, une surcharge ou, pendant un instant, une diminution de la tension aux bornes de 50 pour 100, et cela sans décrochage; mais elles ne résisteraient pas à ces deux à-coups simultanés.

Dans certains cas, on pourrait demander à l'une ou l'autre de ces machines de remplir le rôle de compensateur synchrone ; dans cette éventualité, elles débiteraient une puissance réactive en avance de 39 000 kv-a, pour la machine de 60 p:s et de 34 000 kv-a pour celle à 25 p:s.

L'enroulement du stator du moteur à 60 p:s est du type à barres transposées à raison de deux barres par encoche. La transposition est complète sur la longueur de l'encoche, c'est-à-dire que le conducteur qui se trouvait au fond à l'une des extrémités passe au sommet vers le milieu et revient au fond à l'autre extrémité. L'isolant entourant les bobines est exclusivement du mica aussi bien pour les parties frontales que pour les parties logées dans les encoches. L'enroulement de la génératrice à 25 p:s est du type bobiné ordinaire ; on réduit au minimum les courants de circulation en inversant une spire par bobine, ce qui égalise les tensions engendrées dans les parties supérieures et inférieures des conducteurs d'une même encoche.

3. Démarrage du groupe. — Le démarrage est effectué sous pression d'huile. A cet effet, chaque palier est pourvu d'une pompe à huile actionnée par un moteur d'induction de 225 v, 25 p:s et 1 500 t:mn. De plus, une résistance est insérée dans le secondaire du moteur de démarrage. Des relais à minimum de courant sont disposés de telle sorte qu'ils abaissent automatiquement la résistance du secondaire chaque fois que le courant du stator du moteur de démarrage tombe à moins de 170 pour 100 de sa valeur normale, soit 220 a. Il existe cinq échelons dans cette résistance du secondaire et le groupe atteint la vitesse du synchronisme, 300 t:mn, au bout de 4 mn environ. Comme la vitesse synchrone du moteur de démarrage est de 375 t:mn, la manœuvre de synchronisation consiste à amener le groupe à une vitesse supérieure à 300 t:mn, à agir sur l'excitation de l'unité à synchroniser jusqu'à ce que celle-ci atteigne la tension du réseau et, finalement, à brancher la génératrice sur le réseau à l'instant où la vitesse du moteur de démarrage retombe à 300 t:mn, la concordance de phase étant, d'ailleurs, supposée réalisée.

4. Essai du groupe. — Les auteurs donnent les résultats des essais. Les pertes totalisées du moteur synchrone et de la génératrice varient de 700 à 1 350 kw quand la charge varie de 5 à 100 pour 100 de la pleine charge; celles de la génératrice seule, dans les mêmes conditions, oscillent entre 30 et 600 kw.

Le rendement correspondant au débit dans la direction normale de l'énergie, c'est-à-dire à la conversion de l'énergie à 13 500 v, en courant triphasé, 60 p:s, avec un facteur de puissance de 0,80 en énergie à 6 750 v, en courant triphasé, 25 p:s et facteur de puissance de 0,85 reste compris entre 90 et 97 pour 100 quand la charge varie de 20 à 100 pour 100 de la pleine charge. Les résultats sont les mêmes pour l'opération inverse, c'est-à-dire conversion de l'énergie à 6 750 v, 25 p:s, avec un facteur de puissance de 0,87 en énergie à 13 500 v, 60 p:s et facteur de puissance de 0,75. — B. C.

Etude critique des théories sur le fil de terre (1).

1. Généralités. — La valeur de la protection d'un fil de terre a été définie pour une ligne de transmission d'énergie comme le rapport entre la valeur de la surtension produite par une décharge donnée et celle qui se serait manifestée dans les mêmes conditions en l'absence du fil de terre. L'auteur, dans l'article qui nous occupe, établit une méthode conventionnelle de calcul de ce rapport, basée sur les hypothèses suivantes : réalisation d'une parfaite mise à la terre du fil sur toute sa longueur, décharge instantanée du nuage, distribution uniforme des charges sur les conducteurs et indépendance de ce rapport vis-à-vis de la formation, ou non, d'ondes propagées de part et d'autre.

De nombreux expérimentateurs ont comparé les résultats de leurs essais à ceux fournis par le calcul ; Peek notamment a trouvé des rapports de protection plus faibles que ceux donnés par le calcul. Hunter, pour justifier cette différence, a émis l'hypothèse que les effluves, en augmentant les dimensions de la zone conductrice, entraînaient une réduction dans le potentiel induit.

2. Fils de terre parfaits et prises de terre de résistance périodique. — Dans le cas d'un fil de protection parfaitement à la terre en tous points (cas théorique), l'auteur élabore une méthode analytique de calcul, applicable à tous systèmes avec un nombre quelconque de fils de terre et de conducteurs. Les conclusions en sont que le rapport de protection est indépendant de la loi de décharge du nuage, de la distribution des charges retenues sur les conducteurs et des ondes propagées. Elles sont en accord avec celle de la méthode conventionnelle (complétée par la correction de Hunter), avec les essais de Peek et de McEachron.

Dans le deuxième cas envisagé le fil est mis à la terre à chaque support. L'auteur généralise les théories déjà élaborées pour ce cas par la considération de nombres quelconques de fils de terre et de conducteurs et des réflexions multiples des portées successives.

3. Coups de foudre directs. — A ce point de vue, les avantages de faibles valeurs des résistances de mise de terre sont les suivants: potentiel réduit des fils de terre à l'endroit des supports, potentiel réduit des conducteurs aux mêmes points, potentiel réduit entre conducteurs et fils de terre, limitation pour un plus grand nombre de portées des potentiels dangereux. Peek a préconisé l'utilisation d'un fil de terre spécial, appelé « fil de coup de foudre direct » qui serait placé à une hauteur suffisante au-dessus des conducteurs pour les protéger efficacement, les autres fils de terre servant à limiter les potentiels produits par induction ; mais cet artifice ne donne pas de résultats aussi satisfaisants que ceux procurés par une prise de terre établie dans de bonnes conditions. A moins, en effet, que ce fil supplémentaire ne soit placé très haut, l'éventualité d'amorçages latéraux entre les conducteurs et ce fil subsiste; d'autre part, en accroissant la hauteur du fil les risques de coups de foudre directs sont accrus et il peut se produire une augmentation de potentiel entre la ligne et les autres fils de terre. — M. R.

(1) L.-V. Bewley. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, septembre 1930, t. xlix, p. 780-784, 2000 mots, 6 figures, 1 tableau.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

La Section de Documentation de la Société des Transports en commun de la Région parisienne

Dans l'article qui suit, reproduction d'une communication faite à la réunion annuelle de l'Institut international de Bibliographie qui s'est tenue à Zurich les 22, 23 et 24 août 1930, M. M. Bourrel, chef de la Section de Documentation de la Société des Transports en commun de la Région parisienne, expose l'organisation adoptée par cette société pour procurer à ses différents services les renseignements bibliographiques dont ils ont besoin. Ainsi qu'on le verra, le classement des fiches est effectué d'après les principes de la classification décimale de l'Institut international de Bibliographie. Rappelons à ce propos que c'est également ce mode de classement qui est adopté par la Compagnie de Produits chimiques et électrométallurgiques Alais, Froges et Camargue (*).

I. **But et activité de la Section de Documentation.** — La Section de Documentation de la Société des Transports en commun de la Région parisienne a été créée pour analyser, classer et communiquer aux divers services les renseignements qu'elle a pu se procurer sous la forme d'abonnement à des revues ou d'achats de livres. Son activité est donc de deux ordres : technique et administratif.

A. **Activité technique.** — Les publications, à leur arrivée, sont dépouillées attentivement dans toutes leurs parties, et tous les articles ou les portions d'articles traitant une des questions intéressant l'une des nombreuses activités de la société font l'objet d'une fiche mentionnant les références bibliographiques et le titre de l'article, et comportant autant que possible un résumé du point de vue traité. A l'aide de ces fiches individuelles, on établit hebdomadairement une liste des articles les plus intéressants que l'on publie sous le titre de « Bulletin de Documentation » et qu'on expédie à tous les services.

Ceux-ci envoient des demandes de communication d'articles à la suite de la lecture de ce bulletin. Les demandes d'articles en langue française sont toujours satisfaites. Les demandes d'articles en langue étrangère, donnant lieu à traduction, ne sont satisfaites que dans la mesure où le personnel traducteur est en nombre suffisant et où les articles à traduire justifient bien le travail de traduction. On en résume certaines parties et on en traduit d'autres in extenso. Les textes étrangers sont joints à la traduction quand ils comportent des figures.

Les besoins occasionnels d'un service lancé sur une question spéciale peuvent lui faire ressentir la nécessité d'une documentation étendue sur ce sujet déterminé. Il adresse alors une demande à laquelle on satisfait dans le même esprit que précédemment. Ces recherches documentaires sont facilitées par l'organisation du fichier.

Les fiches individuelles, établies par dictée sténographique, sont rassemblées dans un fichier où elles sont classées d'après les principes de la classification décimale consignés dans le manuel de l'Institut international de Bibliographie de Bruxelles. Les fiches sont munies à cet effet d'un symbole numérique de classification. Ces symboles ont un développement suffisant dans la partie technique générale, mais insuffisant dans la technique spéciale des transports, tant au point de vue économique que technique et d'exploitation. Les tables internationales ont été complétées à cet effet pour les besoins intérieurs de la société et ces compléments ont fait l'objet de nombreux projets d'amendements envoyés à la Commission internationale de Classification décimale, chargée de la révision des tables. La nouvelle édition des « Tables de la classification décimale » a comblé beaucoup de ces lacunes, en empruntant d'ailleurs les développements suggérés.

B. **Activité administrative.** — Toutes les phases de cette activité sont enregistrées sur des fiches qui permettent un contrôle rapide et continu.

L'abonnement à une revue provoque l'établissement d'une fiche sur laquelle on marque, au fur et à mesure de leur arrivée, le numéro et la date de chaque exemplaire de cette revue.

L'arrivée de chaque numéro de revue donne lieu à l'établissement d'une double fiche : une fiche souche et une fiche de circulation. La fiche souche demeure dans le fichier de la Section de Documentation et la fiche de circulation est collée sur la couverture de la revue. Ces deux fiches portent le nom de tous les lecteurs de la revue, ainsi que les dates de communication. On sait donc en tout temps où se trouvent les numéros de toutes les revues et chaque lecteur connaît son tour de lecture.

(*) Le Service de Documentation de la Compagnie de Produits chimiques et électrométallurgiques Alais, Froges et Camargue. *Revue générale de l'Electricité*, 12 avril 1930, t. XXVII, p. 593-598. Analyse d'une communication faite au Comité national de l'Organisation française par M. L. Baget, chef du Service de Documentation.

Chaque demande de traduction ou d'article français fait l'objet d'une fiche que l'on estampille aux dates correspondantes des communications. Ces fiches sont classées par revue.

Chaque demande d'achat de livre ou autre publication est notée sur une fiche d'achat sur laquelle on porte les indications comptables.

Chaque article du « Bulletin de Documentation » est affecté d'un double symbole numérique : en haut et à droite, l'indice de classification décimale ; en haut et à gauche, un double symbole comportant le numéro d'ordre du bulletin ; exemple : Bulletin n° 192. De plus, tous les articles sont numérotés de 1 à n, et nous avons ainsi l'article « 6-B 192 » c'est-à-dire le sixième article du Bulletin n° 192.

Les services utilisent cette dernière référence pour établir leurs demandes de communications, car il n'y a qu'un seul article correspondant au symbole 6-B-192. Le symbole décimal peut leur permettre de classer leurs fiches en découpant les articles du bulletin et de se constituer ainsi une documentation personnelle. On ne saurait en effet utiliser le symbole décimal pour établir une demande de communication de revue, car ce symbole peut s'appliquer à des revues différentes traitant le même sujet.

La circulation et le prêt des revues sont régis par une règle stricte. La Section de Documentation doit avoir seule le contrôle de ces revues et seule, elle doit les faire parvenir d'un service à l'autre. Pas de circulation continue ; circulation alternative par principe. La circulation continue est basée théoriquement sur la bonne volonté individuelle, mais pratiquement sur la mémoire ou le temps disponible de chaque agent. Celui-ci peut donc facilement dépasser le temps de lecture alloué, sans que la Section de Documentation en soit informée. Il est donc impossible de savoir exactement où en est la revue dans son cycle. Dans la circulation alternative, la revue part de la Documentation vers les services et revient à la Documentation pour repartir vers d'autres services. La manutention est un peu plus longue, mais on n'égare pas de numéro de revue. A bon escient, on peut envoyer alors aux services qui dépassent le temps alloué pour la communication des notes de rappel et ceux-ci n'ont qu'à rechercher parmi leurs agents celui qui ne s'est pas conformé aux règles en vigueur. Le temps alloué pour la lecture est de deux jours pleins.

II. **Archives.** — La documentation est une œuvre de longue haleine dont les bienfaits se font sentir à mesure que s'accumulent les sources de renseignements et la multitude des documents. Le travail fait au jour le jour n'est jamais perdu puisqu'on peut le retrouver.

A. **Archives techniques.** — Les archives techniques sont représentées par les répertoires sur fiches constitués par les fiches bibliographiques établies au moment du dépouillement des revues. On peut les classer dans un seul fichier ou faire plusieurs fichiers. Ce dernier système a prévalu parce qu'il répond à des besoins précis.

Il existe un fichier pour les fiches de livres (fiches roses), un fichier pour les brevets (fiches jaunes) et un fichier pour les articles de revues (fiches bleues). De plus, ce dernier fichier, de beaucoup le plus important, est scindé en deux : le fichier spécial constitué par les fiches établies par les soins de la Section de Documentation et le fichier général constitué par les fiches provenant de l'extérieur. Le fichier spécial, ou fichier proprement dit de la Société des Transports en commun de la Région parisienne, ne contient à peu près que les questions intéressant la société. Il est tenu de façon très stricte et très minutieuse, avec de nombreuses fiches intercalaires à inscriptions en clair, pour permettre aux agents ne connaissant pas la classification décimale de se retrouver dans ce lot de fiches. Il n'y a pas 10 fiches sans intercalaire. Ceux-ci sont de dimensions, formes, et couleurs variables pour différencier les diverses subdivisions d'une même question. Le classement et les recherches sont donc grandement facilités. C'est à ce fichier qu'on a recours la plupart du temps. Quand on demande une documentation d'ordre plus général, ou sortant un peu du cadre habituel des préoccupations, on a recours au deuxième fichier contenant les fiches venant de l'extérieur, c'est-à-dire publiées par des revues spéciales ou extraites des parties documentaires de diverses revues et touchant l'ensemble des questions techniques. Ces deux fichiers ne font pas double emploi parce que le fichier général, en principe et en pratique, ne peut contenir que très peu de fiches relatives spécialement aux transports en commun, et ces fiches, même si elles existent, seraient incorporées au fichier spécial. Ce sont donc bien deux sources complémentaires de renseignements. La division facilite les recherches en évitant la manutention d'un trop grand nombre de tiroirs et de fiches.

Le classement des fiches dans ces deux fichiers se fait une ou deux fois par an. Il existe par conséquent un fichier provisoire d'attente où prennent place les fiches établies ou reçues au jour le jour, pour éviter d'avoir toutes les semaines 10 000 ou 15 000 fiches à manier pour y incorporer 200 ou 300 fiches nouvelles.

L'ensemble des fichiers de la société comporte à l'heure actuelle, après 10 ans, plus de 150 000 fiches.

B. **Archives administratives.** — Les archives administratives comprennent :

La collection des traductions, classées par traduction placée dans une chemise individuelle. Chaque traduction est affectée d'un numéro d'ordre et toutes les pages de chaque traduction portent ce numéro, par exemple, Traduction n° 1695.

La collection des « Bulletins de Documentation ». On établit une collection en un seul exemplaire de tous les « Bulletins de Documentation ». On a inscrit en face de chaque article le nom de tous les services qui en ont

demandé la communication et on y ajoute le numéro de traduction si l'article a été traduit.

La collection des revues. Les numéros sont réunis par semestre ou par an et mis dans des classeurs spéciaux pour éviter les frais de reliure et pour permettre de ne prêter que le fascicule désiré sans avoir à se dessaisir de tout un semestre par exemple.

Chaque article ayant fait l'objet d'une fiche porte une marque au crayon bleu, l'indication d'un symbole décimal de classification, une lettre B si l'article a paru au Bulletin, une lettre R s'il a été résumé et un numéro de traduction s'il a été traduit.

La collection des brevets Les brevets sont soumis aux mêmes règles que les exemplaires des revues et classés de la même manière.

La collection des livres. Ceux-ci sont placés dans un meuble bibliothèque et classés rationnellement. L'importance relative de cette dernière collection n'a pas encore obligé à envisager des règles spéciales de classement.

On a donc cherché, tant ou point de vue technique qu'administratif, à créer des recoupements possibles à l'aide de toutes les sources d'activités canalisées dans la Section de Documentation. On n'a pas voulu que l'effort journalier et anonyme soit perdu par un accident matériel et on a multiplié les moyens de contrôle et de reconstitution sans surcharge ni inutilité. La Section de Documentation qui a fonctionné depuis six ans avec des effectifs très variables n'a jamais dévié de ces principes et si le volume de son travail a évolué, les directives en ont toujours été suivies et lui ont permis en tout temps de satisfaire aux demandes d'ordres les plus divers et d'urgence la plus variable.

Assemblées générales

Société d'Electricité de Paris.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 16 OCTOBRE 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929-1930 de cette société, au capital de 155 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 75, boulevard Haussmann, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Au cours de l'exercice, les ventes d'énergie électrique de l'usine de Saint-Denis se sont élevées à 337 627 470 kw-h contre 307 115 663 kw-h en 1928-1929, ce qui marque, d'un exercice sur l'autre une progression de près de 10 pour 100 (1).

Voici le tableau des ventes d'énergie depuis l'origine de l'exploitation :

Exercices.	kw-h	Exercices.	kw-h
1905-1906.....	11 960 501	1918-1919.... ..	134 357 660
1906-1907.....	26 709 535	1919-1920.....	135 589 189
1907-1908.....	33 864 945	1920-1921.....	148 758 2' 4
1908-1909... ...	57 922 175	1921-1922.....	166 619 809
1909-1910.....	77 156 318	1922-1923.....	190 228 030
1910-1911.....	88 843 986	1923-1924.....	209 937 254
1911-1912.....	100 317 404	1924-1925.....	228 006 832
1912-1913.....	125 390 497	1925-1926.... ..	248 493 382
1913-1914.....	145 350 986	1926-1927.....	281 472 413
1914-1915.....	85 564 641	1927-1928.....	282 633 812
1915-1916.....	116 824 395	1928-1929.....	307 115 663
1916-1917..... .	154 630 937	1929-1930.	337 627 470
1917-1918.....	150 544 395		

L'augmentation du capital social votée par l'assemblée générale extraordinaire du 25 novembre 1929 a été définitivement réalisée le 28 février dernier. La décision prise par le conseil d'autoriser la libération anticipée des actions nouvelles a été très favorablement accueillie par les souscripteurs du nouveau capital, ainsi qu'en fait foi le nombre des libérations ainsi effectuées.

A l'assemblée générale ordinaire du 18 octobre 1929, le conseil avait fait part de l'édification d'une nouvelle usine génératrice à côté de celle de Saint-Denis. Cette nouvelle usine est en voie d'exécution. Elle doit être équipée dans une première tranche avec trois groupes turboalternateurs d'une puissance unitaire de 50 000 kw tournant à 3 000 t : mn. Chaque groupe de 50 000 kw sera alimenté par deux chaudières à charbon pulvérisé produisant de 90 à 120 t de vapeur à l'heure. La pression de la vapeur aux chaudières sera de 65 kg : cm² et de 55 kg : cm² aux turbines. La température de la vapeur sera de 465°C à la sortie des chaudières et de 450°C à la boîte d'admission des turbines.

On pense que la liaison de l'usine de Saint-Denis avec l'usine d'Ivry de la Société Electricité de la Seine, filiale de la société dont nous nous occupons, sera réalisée pendant l'exercice en cours. Le contrat de fourniture d'énergie électrique à la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité a reçu son application depuis le 1er janvier 1930. Une délibération du Conseil municipal de Paris, approuvée par décret publié au « Journal officiel » du 29 mars 1930, a autorisé la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité à se dessaisir de la gestion de ses usines Nord et Sud en faveur des producteurs d'énergie électrique de la région parisienne. Comme conséquence, en collaboration avec d'autres producteurs amis, la Société d'Electricité de Paris a constitué un consortium qui gère et exploite les usines de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité. Par suite de cet accord, la production de l'énergie électrique dans la région parisienne se trouve répartie entre deux groupes : celui de l'Union d'Electricité et celui de la Société d'Electricité de Paris et de l'Electricité de la Seine.

A l'assemblée générale du 18 octobre 1929 il avait été annoncé que l'étude des problèmes de la distribution de l'énergie électrique dans la région parisienne avait amené la société à participer à la constitution de la Société pour le Transport de l'Energie électrique du Massif central. Pour les mêmes motifs, et toujours en accord avec les producteurs de la région parisienne et la Société Electricité de la Seine, la société a pris une participation dans l'Union pour l'Industrie et l'Electricité, gros producteur d'énergie hydro-électrique qui, dans l'avenir, doit envoyer une partie de sa production dans la région parisienne.

Le crédit du compte de profits et pertes comprend : le report à nouveau de l'exercice 1928-1929, s'élevant à

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 21 décembre 1929, t. XXVI, p. 1014.

23 282,72 fr; les produits de l'exercice 1929-1930, comprenant le bénéfice de l'exploitation des usines de Saint-Denis, les loyers et les produits du portefeuille, 39 191 137,60 fr le solde du compte d'intérêts, 1 894 220,84 fr.

Le débit supporte : les frais généraux d'administration et l'abonnement au timbre, 1 009 598,24 fr; les charges d'emprunts, dont 552 840 fr d'intérêts et 440 853,22 fr pour l'amortissement annuel des obligations, 993 693,22 fr; un prélèvement pour amortissement des dépenses de premier établissement, 5 000 000 fr; un versement au fonds de renouvellement du matériel, 5 000 000 fr; un prélèvement pour constitution d'une réserve pour éventualités, 5 000 000 fr; un prélèvement pour constitution d'une réserve pour assurances, 5 000 000 fr. L'ensemble de ces dépenses laisse pour solde un bénéfice de 19 105 349,70 fr, qui est réparti de la manière suivante : réserve légale, 954 103,35 fr; premier dividende de 4 pour 100 au capital versé, moins intérêts d'assimilation, soit 1 876 068,58 fr; attribution aux administrateurs et au directeur, 1 188 756,73 fr; deuxième dividende de 35,08 fr aux actions A anciennes, 3 508 000 fr; deuxième dividende de 17,54 fr aux actions A nouvelles, 7 366 800 fr; deuxième dividende de 4,385 fr aux actions B, 438 500 fr; dividende de 377,16 fr aux parts bénéficiaires, 3 771 600 fr.

Le solde à reporter à l'exercice 1930-1931 s'élève ainsi à 1 521,04 fr.

Les dividendes bruts se trouvent ainsi fixés :

45,08 fr aux actions A anciennes ;
20,37 fr aux actions A nouvelles, libérées ;
18,79 fr aux actions A nouvelles, non libérées ;
5,635 fr aux actions B ;
377,16 fr aux parts.

Rappelons à ce sujet que les actions A nouvelles ne portent jouissance que du 1er janvier 1930.

BILAN AU 30 JUIN 1930.

Actif.

	fr
Actionnaires	63 523 875 »
Caisse, banques et débiteurs divers	132 893 039,51
Obligations à la souche	2 703 500 »
Approvisionnements	5 470 430,67
Portefeuille	78 024 709,42
Frais de constitution de la société, mobilier et aménagement du siège social	pour mémoire.
Frais d'émission des obligations, moins amortissement	808 696,53
Premier établissement : usines de Saint-Denis et terrains, moins amortissements	71 846 976,12
	355 271 227,25

Passif.

	fr
Capital :	
620 000 actions de 250 fr chacune	155 000 000 »
10 000 parts bénéficiaires	pour mémoire.
Obligations de 500 fr, 4 pour 100, moins amortissements	16 229 500 »
Réserve légale	2 500 000 »
Réserve pour éventualités	28 000 000 »
Réserve pour assurances	24 500 000 »
Fonds de renouvellement du matériel :	
Solde du compte	40 758 209,49
Prélèvement sur l'exercice 1929-1930	5 000 000 »
Créditeurs divers	63 789 355,75
Intérêts et dividendes, coupons restant à payer	388 812,31
Profits et pertes : solde au 30 juin 1930	19 105 349,70
	355 271 227,25

Electricité du Nord-Est parisien.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 15 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 30 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 3, rue de Messine, nous extrayons les renseignements qui suivent :

La concession d'Etat a été approuvée par décret en date du 26 mars 1930 (1).

Dans le département de la Seine, la société a obtenu l'approbation de la concession communale de Noisy-le-Sec (2).

Dans le département de Seine-et-Marne, elle a obtenu les concessions de Croissy-Beaubourg et de Forfry.

Dans l'ensemble de sa distribution, sa clientèle et ses ventes d'énergie se sont développées d'une façon satisfaisante.

Au cours de l'exercice, les ventes d'énergie ont augmenté de 25 pour 100 et le nombre total des abonnés de 15 pour 100.

Le bénéfice de l'exercice, après prélèvement des amortissements, s'élève à 5 192 648,43 fr et est réparti comme il suit : réserve légale, 259 632,42 fr; premier dividende de 5 pour 100 sur le capital versé, 975 000 fr; tantièmes statutaires, 395 801,60 fr; dividende complémentaire de 10 pour 100, 3 000 000 fr.

Le solde, soit 562 214,41 fr, auquel s'ajoute le report de l'exercice 1928, soit 468 253,17 fr, donne un total de 1 030 467,58 fr qui est reporté à l'exercice en cours.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1930.

Actif.

	fr
Immeubles	1 330 120,89
Réseaux	46 880 973,41
Mobilier	1 »
Matériel et outillage	1 »
Frais de constitution et d'augmentation de capital	1 »
Frais d'émission d'obligations	1 »
Primes d'émission d'obligations	1 »
Magasins	658 850,04
Cautionnements	869 283,40
Caisses et banques	1 357 711,80
Portefeuille	10 039 990,93
Actionnaires	10 500 000 »
Débiteurs divers	6 039 140,58
	77 676 076,05

Passif.

	fr
Capital	30 000 000 »
Obligations	3 932 000 »
Primes d'émission	400 000 »
Réserve légale	6 3 985,93
Réserve spéciale	3 000 000 »
Fonds d'amortissement	15 129 841,18
Avances sur consommation	2 076 884,31
Créditeurs divers	16 812 463,03
Profits et pertes :	
Report de l'exercice 1928	468 253,17
Solde de l'exercice 1929	5 192 648,43
	77 676 076,05

(1) Voir *Bulletin R. G. E.*, 19 avril 1930, t. XXVII, p. 123 B.

(2) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 6 juillet 1929, t. XXVI, p. 35.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF : Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 25. — 20 DÉCEMBRE 1930.

Chronique. — A propos des électrolytes spéciaux pour accumulateurs électriques au plomb, p. 969. — A propos de l'utilisation des fleuves à leur embouchure : Rectification, p. 970. – Bibliographie : Gestehungskosten und Verkaufspreise elektrischer Arbeit (Prix de revient et prix de vente de l'énergie électrique), par Fr. BROCK, p. 970; Mercury arc power rectifiers (Les redresseurs à vapeur de mercure), par O.-K. MARTI et H. WINOGRAD, p. 970; Die Relaissteuerungen der modernen Starkstromtechnik (La commande par relais dans la technique moderne des courants forts), par Reinhold RUDENBERG, p. 970.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (septembre 1930) (*suite*), p. 971.

Section scientifique et technique. — Champ électrique produit en présence du sol par un fil conducteur de courant alternatif, par J.-B. POMEY, p. 985. — Quelques aspects de la théorie quantique des spectres lumineux (*suite et fin*), par L. BRUNINGHAUS, p. 990. — Revues, analyses et informations : Expériences sur les conduites de l'usine de Miègebat, p. 1005; Sur la rapidité de l'allumage des redresseurs à vapeur de mercure, p. 1006.

Section industrielle. — Prescriptions spéciales relatives aux installations de la première catégorie particulièrement exposées aux effets de la foudre, par A. MAUDUIT, p. 1007. — Revues, analyses et informations : Progrès récents réalisés dans les systèmes de protection des lignes de transmission et de distribution d'énergie, p. 1011; Système Brown Boveri de commande à distance à sélecteurs, p. 1014.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Société d'Eclairage et de Force par l'Electricité à Paris, p. 1015; Société pyrénéenne d'Energie électrique, p. 1016.

A propos des électrolytes spéciaux pour accumulateurs électriques au plomb. — Depuis plusieurs années il est souvent question d'électrolytes soi-disant merveilleux qui, non seulement, assureraient une longue conservation des batteries, mais même permettraient la recharge de ces batteries sans dépense de courant.

Il n'est pas nécessaire de mettre en garde contre ces produits miraculeux nos lecteurs qui savent à quoi s'en tenir à ce sujet. Mais nous ne pouvons pas résister à la tentation de leur faire partager notre hilarité à la lecture d'un brevet français assez récent sur un produit de cette nature.

Nous indiquons entre guillemets les passages les plus caractéristiques de ce brevet :

« La présente invention supprime complètement la dépense d'électricité pour charger les batteries.

» La charge est effective pendant un temps bien plus long que celui de la charge électrique et est d'un prix de revient moindre. »

Il s'agit donc, comme on le voit, d' « électricité en bouteille » et on est vraiment en droit de se demander pour quelle raison on conserve des plaques dans l'élément. Est-ce que leur place ne serait pas mieux occupée par le mirifique produit? Il doit certainement y avoir là matière à certificat d'addition.

« La charge, selon l'invention, a l'avantage de maintenir les plaques et les divers matériaux que comportent les batteries en bon état, etc., tout en donnant une puissance supérieure à celle donnée par la charge électrique. »

Autrement dit, la charge en bouteille est de qualité supérieure à la charge électrique. Elle agirait même sur les accessoires, les bacs, les prises de courant, les caisses. C'est véritablement la panacée universelle.

« La charge, selon la présente invention, consiste en une composition chimique à base de magnésie et d'éosine, ou de tout autre produit colorant, etc., cette composition étant versée dans les récipients en ébonite ou en matière analogue, fabriqués expressément pour pouvoir supporter une réaction chimique et électrique (réaction assez dangereuse), la composition restant à l'état d'électricité et en condition voulue pour permettre d'obtenir tous les avantages indiqués ci-dessus. »

Quelle menace pour les contrefacteurs!

Il y a danger pour qui ne possède pas la bouteille magique. Mais nos lecteurs ne vont-ils pas être terrifiés à la pensée de cette « réaction chimique et électrique » possible du mélange de magnésie et de produit colorant?

Certains d'entre eux croiront peut-être que ceci est une galéjade; mais nous nous tenons à leur disposition pour les convaincre en leur montrant l'exemplaire du brevet imprimé que nous possédons. — J. R.

A propos de l'utilisation des fleuves à leur embouchure : Rectification. — Dans une communication présentée à l'Académie des Sciences (1) et reproduite dans ces colonnes (2), M. C. Raveau a fait remarquer que toute hétérogénéité peut engendrer de la force motrice, à la condition que l'on puisse obtenir des forces différentes. « Entre l'eau salée et l'eau douce, ajoutait-il, il existe, à la même température et en vertu de la salure seule, une différence de tension de vapeur. C'est cet écart qui porte le point d'ébullition de l'eau de mer sous la pression normale de 100°C à 103,7°C, température à laquelle la tension de vapeur de l'eau pure dépasse celle correspondant à une colonne de mercure de 866 mm ». A ce propos, M. Raveau signale, dans une récente communication (3), à l'Académie des Sciences, que sa dernière assertion est basée sur une erreur dans le nombre indiqué pour la température d'ébullition de l'eau de mer. Voici d'ailleurs le texte de cette rectification :

Une erreur, répétée aux tableaux 95 d et 149 du « Recueil de constantes physiques » publié par la Société française de Physique, assigne à la température d'ébullition de l'eau de mer la valeur unique 103,7°C, alors que le maximum, pour les eaux les plus salées, n'atteint certainement pas 100,5°C. Cette correction rend pratiquement négligeable l'intérêt qu'il pourrait y avoir à remplacer l'eau de mer chaude par l'eau d'un fleuve, substitution sur laquelle j'avais attiré l'attention de M. G. Claude. Il reste seulement que l'emploi de l'eau douce ne sera jamais désavantageuse et qu'on peut parler d'une énergie thermique des eaux du globe.

Bibliographie : Gestehungskosten und Verkaufspreise elektrischer Arbeit (Prix de revient et prix de vente de l'énergie électrique), par Fr. Brock (4). — Comme l'indique le titre, cette brochure se divise en deux parties. Dans la première, l'auteur traite de l'établissement du prix de revient de l'énergie électrique, examinant successivement les divers facteurs qui interviennent dans ce prix, tels que la durée de la charge maximum, le facteur de charge (rapport de l'énergie réellement produite annuellement à celle qui aurait été produite si la puissance avait été constante toute l'année et égale à la puissance maximum), le facteur d'utilisation (rapport de la puissance moyenne à la puissance installée), les variations du régime des cours d'eau qui alimentent les usines intéressées, dans le cas où elles sont hydroélectriques et le facteur de diversité. Ces éléments interviennent dans le prix de revient comme éléments variables ; il convient d'ajouter au terme sur lequel ces éléments influent des termes constants, comme l'intérêt et l'amortissement du capital.

La deuxième partie est relative à l'établissement des prix de vente de l'énergie ; l'auteur définit les divers modes de tarification et traite, pour terminer, de l'influence du facteur de puissance sur le prix de revient. — A. C.

(1) *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 22 septembre 1930, t. CXCI, p. 472-473.
(2) *Revue générale de l'Électricité*, 18 octobre 1930, t. XXVIII, p. 609-610.
(3) *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 24 novembre 1930, t. CXCI, p. 1006.
(4) Un volume, format 24 cm × 16 cm, de 48 pages, avec 20 figures dans le texte, édité par Julius Springer, Linkstrasse, 23-24, à Berlin W 9. Prix : broché, 4,80 marks.

Bibliographie : Mercury arc power rectifiers (Les redresseurs à vapeur de mercure), par O.-K. Marti, ingénieur en chef à l'American Brown Boveri Co et H. Winograd, ingénieur au service des redresseurs de la même société (1). — Les techniciens connaissent le rôle de plus en plus important joué par les redresseurs à vapeur de mercure dans l'équipement des sous-stations. L'objet de l'ouvrage qui nous occupe est l'étude détaillée de ces appareils.

Après une introduction où est retracé l'historique de leur invention, les auteurs exposent d'abord les principes et les propriétés physiques des redresseurs à vapeur de mercure et la théorie élémentaire des phénomènes dont ils sont le siège durant leur fonctionnement A cette première théorie se rapportant à l'appareil lui-même fait suite une théorie plus importante ayant trait aux relations entre les tensions et les courants dans les circuits alimentés par des redresseurs.

Un chapitre est consacré au calcul des transformateurs destinés à l'alimentation de ces appareils. La conception et la réalisation des redresseurs à vapeur de mercure ainsi que de leurs auxiliaires constituent la matière d'une étude approfondie, de même que sont décrites les opérations de leur mise en service et de leur utilisation.

Les différentes applications et, en particulier, le choix de l'emplacement et l'organisation des sous-stations à redresseurs sont étudiés en détail par les auteurs ; la question du réglage de la tension fait ensuite l'objet d'un examen approfondi.

La dernière partie de l'ouvrage concerne particulièrement l'influence sur les lignes de communication des circuits alimentés par le courant des redresseurs.

Cet ouvrage se recommande aux techniciens ayant à s'occuper de la construction, de l'installation ou de l'exploitation des redresseurs à vapeur de mercure. Les uns et les autres y trouveront tous les renseignements nécessaires à la résolution des problèmes qui peuvent se présenter dans la pratique journalière de leur profession. — R. G.

Bibliographie : Die Relaissteuerungen der modernen Starkstromtechnik (La commande par relais dans la technique moderne des courants forts), par Reinhold Rudenberg, ingénieur en chef des Siemens-Schuckertwerke, professeur honoraire à la Technische Hochschule, à Berlin (2). — Dans cette brochure sont réunies quelques conférences faites par l'auteur à diverses occasions, en Allemagne et dans d'autres pays. Après avoir montré l'étendue du domaine des applications de la commande automatique par relais dans la technique des courants forts, depuis celle qui en est faite aux chaudières de l'usine génératrice jusqu'à celle que l'on trouve sur les appareils d'utilisation, en passant par la grande diversité de combinaisons pour la distribution de l'énergie, M. Rüdenberg classe et décrit les éléments des dispositifs et le principe de leur fonctionnement.

Un exposé de quelques exemples de réalisations termine ces considérations générales et fixe ainsi les idées sur les possibilités de la technique de l'automaticité de la commande. — A. C.

(1) Un volume, format 23,5 cm × 15,5 cm, de 473 pages, avec 230 figures dans le texte, édité par la librairie McGraw-Hill Co, 6 et 8, Bouverie street, à Londres (E. C. 4). Prix : relié, 30 shillings.
(2) Un volume, format 24 cm × 16 cm, de 80 pages, avec 125 figures dans le texte, édité par la librairie Julius Springer, 23-24, Linkstrasse, à Berlin W 9. Prix : broché, 7,50 marks.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique (Septembre 1930) (*Suite*) (*)

VII. Propagande auprès des abonnés (*Suite*)

XIII. **La propagande auprès des abonnés, y compris diverses applications de l'électricité; les progrès de l'éclairagisme.** Rapport de A. Burri, ingénieur. — De même que le précédent, ce rapport, de quatorze pages de texte, concerne les moyens mis en œuvre pour stimuler le marché de l'énergie électrique, mais celui-ci a trait à ce qui a été fait en Suisse.

1. Moyens de propagande. — Comme ailleurs, on a envisagé : 1° La vente à crédit et autres facilités accordées aux acheteurs d'appareils électriques; 2° Les tarifs spéciaux pour les applications domestiques et agricoles, courant de nuit et influence de ces tarifs sur la consommation; 3° L'extension des réseaux aux régions peu peuplées et dont les habitants ne disposent que d'un pouvoir d'achat relativement faible.

Les mesures prises par les distributeurs d'énergie pour accélérer la vente des appareils électriques ont été mises en évidence par une enquête faite, il y a environ une année, par les soins de l'Union de Centrales suisses d'Electricité et d'où il résulte que la propagande est exécutée par les diverses entreprises sur la base de principes différents qui ne semblent pas également recommandables. La Commission pour les Applications thermiques, instituée au sein de l'Union de Centrales suisses d'Electricité (appelée, par abréviation « Commission » dans la suite de ce rapport), a dressé une récapitulation des moyens mis en œuvre pour cette propagande, surtout en matière de cuisine électrique et elle en a donné connaissance aux sociétés de distribution suisses. Cette récapitulation comporte : *a*) la fourniture temporaire de courant à prix très réduit, ou même gratuite; *b*) le consentement au payement par acomptes des frais d'installation; *c*) la prise en charge d'une partie des frais d'installation; *d*) la fourniture à prix réduit de cuisinières et de chauffe-eau à accumulation; *e*) la livraison de cuisinières à l'essai; *f*) la fourniture d'ustensiles de cuisine appropriés, à des prix réduits ou même gratuitement.

2. Tarifs. — La tarification au moyen de trois tarifs s'adapte théoriquement presque parfaitement aux conditions de production de l'énergie électrique et aux possibilités de concurrence des autres modes de production d'énergie; mais, d'autre part, ses inconvénients sont évidents. En effet, elle constitue un obstacle non négligeable à la propagande, contrairement aux tarifs simples et facilement intelligibles.

Cependant, ce système de tarification possède l'indéniable avantage de satisfaire au mieux fournisseur et consommateur de courant et il est à remarquer que différentes autres sociétés de distribution suisses et étrangères ont suivi à peu près le même exemple.

Le tableau I indique à titre d'exemple les dépenses annuelles correspondant à l'énergie consommée par une famille.

Tableau I. — *Dépenses annuelles relatives à la consommation d'énergie d'une famille.*

	Énergie consommée kilowatts-heures	Coût total de l'énergie	Prix du kilowatt-heure
		francs suisses	centimes
1. Tarif pour la cuisson et la buanderie ...	2 074	165,90	8
2. Tarif de nuit, pour le chauffe-eau de 200 litres et le chauffage du plancher	5 765	210,75	3,65
3. *a*) Tarif lumière (maximum)	256	128,00	50
b) Tarif moyen	569	63,25	11,2
c) Tarif minimum	1 932	86,95	4,5
Location de compteurs et d'appareils		46,80	
Total	10 596	701,65	

Le prix moyen du kilowatt-heure est donc, abstraction faite du loyer des compteurs et des appareils, de 6,18 centimes et de 6,7 centimes en tenant compte de ce loyer; il s'agit donc de prix relativement bas.

3. Développement de l'éclairagisme. — Dans le but d'intéresser davantage le public aux nouvelles formes et applications d'éclairage et de favoriser l'exécution d'installations rationnelles, l'Union de Centrales suisses d'Electricité, l'Union suisse des Installateurs électri-

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 22 et 29 novembre, 6 et 13 décembre 1930, t. XXVIII, p. 803-812, 843-850, 885-894 et 923-932.

ciens et les fabriques de lampes à incandescence ont fondé un Office de l'Eclairagisme qui, outre son rôle de conseil technique, s'est donné pour tâche la propagande systématique en faveur de l'éclairage artificiel. Les moyens adoptés sont comparables à ceux signalés dans divers rapports résumés plus haut.

4. Conclusions. — En interprétant ces nombres fournis par les statistiques en les comparant avec ceux d'autres pays, et en se rappelant que la Suisse compte moins de 4 millions d'habitants, il apparaît que la diffusion des applications électrothermiques dans ce pays s'avère très importante. Durant l'année 1929, le nombre des appareils électrothermiques en service en Suisse s'est accru de 124000 unités, correspondant à une puissance raccordée de 145000 kw. Ce sont les fers à repasser, avec un effectif de 43000, qui, au point de vue du nombre, occupent le premier rang parmi ces nouveaux raccordements; ensuite viennent les radiateurs paraboliques et les chauffe-eau à accumulation, avec, respectivement, 17600 et 16800 unités, puis les cuisinières et réchauds, avec 15600 unités. Ceci atteste donc que la cuisine électrique se diffuse très rapidement en Suisse.

XIV. — **Les nouvelles applications de l'électricité à l'agriculture aux Pays-Bas.** Rapport du Bureau central de l'Association de Directeurs d'Entreprises électriques des Pays-Bas. — Ce rapport de neuf pages de texte avec neuf figures, consiste plus spécialement dans l'exposé des moyens adoptés et des résultats obtenus dans des épreuves de réchauffement électrique du sol et de leur comparaison avec ceux que donne l'emploi du fumier de cheval.

Le conducteur est constitué par une résistance, généralement formée d'un alliage de cuivre et de nickel. Il est entouré d'un isolant formé de deux couches de rubans d'amiante, autour desquelles est enroulée une couche de papier imprégné. Le tout est entouré d'une gaine de plomb. Pour les câbles posés dans le sol, la gaine de plomb est généralement protégée par une couche mince de compound d'asphalte, laquelle est entourée de deux couches de papier; parfois, ces câbles sont armés d'une double couche de ruban en aluminium ou en cuivre.

Les résultats de ces épreuves sont satisfaisants en général, quoiqu'il ne s'agisse ici que d'expériences préliminaires. Pour différentes données, telles que la profondeur de pose du câble et la température désirable, les meilleures valeurs ne peuvent pas encore être déterminées avec certitude. En ce qui concerne les couches d'isolation thermique et l'emploi de tuyaux de drainage, les résultats des différentes installations montrent qu'en général les câbles peuvent être posés directement dans le sol. La valeur économique d'une installation de chauffage du sol dépendra du prix de l'énergie et d'un mode d'installation soigneux et judicieux. C'est pourquoi un examen systématique de cette question est de la plus haute importance et il est très désirable que les résultats des différentes épreuves soient soumis à une direction centrale. Aux Pays-Bas, c'est le Bureau central de l'Association de Directeurs d'Entreprises électriques qui rassemble, à des époques déterminées, les experts en horticulture dans des réunions où ils se communiquent réciproquement les résultats de leurs travaux. Des études théoriques concernant l'emploi de l'électricité dans l'horticulture sont faites, entre autres, à l'Ecole supérieure d'Agriculture, à Wageningen, sous les auspices du fonds de l'Industrie électrotechnique pour Examens scientifiques.

Les épreuves mentionnées ci-dessus sont encore poursuivies et d'autres ont été également entreprises, entre autres dans les jardins potagers des Conseils d'horticulture de l'Etat à Leeuwarden et à Naaldwijk, et dans celui de l'Ecole d'agriculture à Lonneker.

XV. **L'éclairagisme.** Rapport de Axel Bourlard, ingénieur en chef à la Société Electricité et Gaz de l'Agglomération bruxelloise. — Dans ce rapport de quatre pages de texte, l'auteur traite de l'état de la propagande en faveur d'un meilleur éclairage en Belgique et des progrès qu'il reste à faire dans le sens d'une utilisation plus rationnelle de l'électricité dans ce pays.

1. Eclairage chez les abonnés. — Les exploitants de distributions en Belgique sont assez divisés sur la nécessité d'organisation d'un service de démonstration aux usagers. Un grand nombre d'entre eux estiment que la propagande doit plutôt être faite par d'autres groupements tels que ceux des installateurs, des fabricants de lampes, des architectes, etc., ceux-ci n'ayant pas comme les distributeurs intérêt à pousser à la consommation d'électricité. Aussi, en fait, seuls les fabricants de lampes Philips et Mazda s'occupent de la propagande en Belgique.

Les sociétés de distribution belges considèrent que les facteurs pouvant influencer l'accroissement de la consommation d'énergie pour l'éclairage sont, à côté des effets de propagande, l'augmentation des revenus de la population et l'esprit des nouvelles générations qui augmentent leur bien-être par des dépenses plus importantes.

2. Eclairage public. — Les administrations publiques préfèrent, en général, un éclairage avec foyer lumineux ou globe diffuseur donnant à la voie publique un certain aspect d'illumination. Elles semblent tenir à donner aux artères un aspect plaisant plutôt qu'à rechercher des solutions évitant avant tout l'éblouissement des usagers.

Il est donc employé, en général, pour l'éclairage des grandes villes, des lampes d'une puissance de 200 à 1000 w suspendues à des hauteurs variant de 6 à 10 m, placées à des carrefours ou en série, pour l'éclairage complet des voies publiques, avec espacement de 40 m à 100 m. La disposition des lampes suspendues dans l'axe des rues est reconnue comme donnant des résultats les plus satisfaisants. Les lampes sont montées dans

des armatures avec globe. Mais on tend à supprimer les globes qui absorbent de la lumière et empêchent la bonne ventilation de la lampe et à les remplacer par de simples bandeaux diffusants.

Dans les villages, l'éclairage public est assuré par des lampes d'une puissance de 25 à 60 w fixées aux poteaux des lignes de distribution. Ces lampes sont espacées de 40 à 60 m dans les agglomérations denses et de 80 à 100 m dans les voies peu bâties.

Bien que le service de l'éclairage public soit peu rémunérateur, les sociétés de distribution belges voient dans son développement un facteur favorable ; en effet, il incite les abonnés à accroître leur éclairage propre du fait que dans les voies bien éclairées, l'éclairage des étalages doit être particulièrement brillant pour faire ressortir les objets exposés.

L'auteur termine par quelques considérations sur les unités et les étalons photométriques, la recherche de nouvelles sources de lumière, etc. Les distributeurs admettent qu'ils n'ont pas à s'occuper directement de ces questions, mais simplement à se tenir au courant des résultats obtenus.

XVI. **La propagande faite par les distributeurs belges d'énergie électrique.** Rapport de P. Sohié, ingénieur à l'Union des Exploitations électriques en Belgique. — Ainsi que l'indique l'auteur, dans ce rapport de trois pages de texte, le réseau des sociétés belges de distribution d'énergie électrique se développant très rapidement, l'activité de ces sociétés a surtout été consacrée à l'extension des lignes et des réseaux. Ce n'est donc que depuis quelques années que la question de la propagande auprès des abonnés en vue d'accroître la consommation d'énergie commence à s'exercer.

L'organisation du service de propagande varie d'une société de distribution à l'autre. En ce qui concerne l'éclairage, la propagande étant très active de la part de certains constructeurs spécialisés, les distributeurs s'en sont généralement désintéressés d'autant plus que dans les grandes villes où la consommation spécifique d'éclairage est la plus importante, la distribution est souvent faite par une régie communale ne faisant pas de propagande active en faveur des applications de l'électricité.

Pour les autres applications de l'électricité, la propagande faite auprès des particuliers, des artisans, des industriels, des fermiers, etc., porte sur les mêmes objets et emploie les mêmes moyens que dans les autres pays. Rien de particulier n'est donc à signaler à son sujet. Elle s'effectue au moyen des circulaires, des tracts, d'affiches, des films cinématographiques, d'expositions, etc.

XVII. **L'électrification rurale en Grande-Bretagne.** Rapport de R. Borlase-Matthews. — Ce rapport de douze pages de texte concerne les progrès réalisés dans le domaine de l'électrification rurale pendant ces dernières années. Ce sujet devient actuellement d'une étendue si vaste que ce rapport a été limité aux développements les plus récents des problèmes principaux de l'électrification rurale.

L'auteur fait remarquer l'intérêt que portent actuellement à cette question les gouvernements d'un grand nombre de pays, surtout celui de la Grande-Bretagne, à cause de l'état désastreux dans lequel est tombée l'industrie agricole et aussi par suite de la grande extension du chômage. Il fait mention des deux grands projets d'électrification rurale dont l'auteur assume la responsabilité, à savoir le projet du Lincolnshire et le projet de l'Angleterre de l'Est central. L'importance de la normalisation d'une tension intermédiaire est discutée ; les membres de l'Electricity Board sont disposés à agréer la valeur de 11 000 v comme tension intermédiaire normalisée.

Les questions de l'éducation des abonnés, de la forme idéale de tarif à appliquer dans les régions rurales et l'importance des projets relatifs à la location du matériel et à son achat à tempérament sont traitées en détail.

L'auteur mentionne également un appareil d'un type nouveau destiné à accumuler la chaleur et à chauffer de l'eau ainsi qu'une machine d'utilité universelle pour les usages généraux à la ferme. Il donne un exemple typique des économies qui peuvent être effectuées dans une ferme relativement petite avec une installation électrique.

Les autres sujets traités concernent les moteurs agricoles, les charrues rotatives, le labourage électrique et les industries rurales.

XVIII. **La publicité dans une société de distribution d'énergie électrique.** Rapport de L. Groslier, ingénieur aux Services commerciaux du Nord-Lumière (Le Triphasé). — Dans ce rapport de huit pages de texte, l'auteur émet d'abord l'avis que, dans le but d'augmenter les ventes d'énergie électrique, les distributeurs doivent vendre en même temps les marchandises de complément que constituent les appareils d'utilisation d'énergie électrique. La publicité portera donc sur les applications de l'électricité et l'on utilisera les moyens habituels de publicité.

Si, jusqu'à ces dernières années, les sociétés de distribution ont négligé la publicité ou même s'en sont passées complètement, il est certain que les services publicitaires récemment créés un peu partout prendront, comme ils l'ont fait dans tous les autres commerces, une extension de plus en plus importante dans les années à venir et ceci, à la demande même des services commerciaux.

XIX. **La propagande en faveur de l'électricité, organisée par la Compagnie d'Electricité de Lodz, S. A.** Rapport de Edward Ulmann, professeur, directeur de la Compagnie d'Electricité de Lodz. — Ce rapport de quatre pages de texte ne diffère pas essentiellement des précédents ayant trait au même sujet. Il expose les moyens de propagande adoptés par ladite compagnie, moyens qui ne sont autres que l'adoption de

divers modes de tarifications, la publicité par tracts, affiches, salles de démonstration, etc.

XX. **Le développement de la traction électrique par accumulateurs en Belgique.** Rapport de J. Ryffranck et P. van Halteren, ingénieurs, secrétaires de la Société belge de Traction électrique par Accumulateurs. — Ce rapport de dix pages de texte contient l'historique du développement en Belgique de la traction électrique par accumulateurs et l'exposé des travaux du Syndicat d'Etudes pour le Développement de la Traction électrique par Accumulateurs.

1. Introduction. — Le problème du transport sur route par véhicules à accumulateurs, demeuré longtemps sans intérêt. a acquis une importance considérable au lendemain de la guerre; aussi les pionniers de la traction par accumulateurs se remirent à l'ouvrage et en 1923 une première camionnette électrique fut mise à l'essai à l'usine génératrice de Langerbrugge. En 1929 était formée la Société belge de Traction électrique par Accumulateurs dont la première entreprise fut l'exploitation, en commun avec les Tramways unifiés de Liége, d'un service d'autobus à l'Exposition internationale. Le problème était sorti de l'ombre ; le résultat actuel est l'aboutissement de sept années d'efforts.

2. Essais effectués. — Le premier véhicule soumis à des essais contrôlés fut une camionnette de marque allemande d'une charge utile de 750 kg. Mise en service en 1923 et soumise aux régimes les plus sévères, elle fonctionne encore journellement. La batterie, après sept ans de pareil service est arrivée à la fin de son terme de vitalité : elle a fourni plus de 2600 cycles de charge et de décharge. Le prix de revient, qui est de 2 fr par kilomètre, peut sembler trop élevé; mais dans les véhicules de construction plus moderne la consommation moyenne d'énergie peut être notablement réduite.

L'emplacement des usines des Centrales électriques des Flandres et du Brabant, situées à 8 km de la ville de Gand, fit envisager à cette société la création d'un service autonome de transport. Aussi en 1925, elle passa commande à la firme De Dion Bouton d'un électrobus type « Ville de Lyon ». Dès sa mise en service, les résultats obtenus furent encourageants tant au point de vue économie de transport que régularité de service.

Il s'agit ici, bien entendu, d'une exploitation privée, n'ayant ni frais généraux, ni frais d'administration. Il est certain que dans le cas d'une exploitation de transports en commun, les frais seraient augmentés d'environ 20 pour 100. L'auteur entend que, même avec un prix de revient de cet ordre de grandeur, l'autobus électrique est encore intéressant pour des fréquences de départs de 30 en 30 minutes.

Une autre expérience fut encore exécutée relativement au remplacement de la traction des wagons par chevaux pour les manœuvres par des tracteurs à accumulateurs. Dans ce domaine, comme dans celui de la traction routière, la traction électrique par accumulateurs ne manque pas de rendre d'excellents services, du moment qu'ils sont convenablement alimentés ; les tracteurs sont prêts au travail au premier appel. Après de multiples et longs essais, la conclusion a été favorable : la traction électrique par accumulateurs présente de l'intérêt et donne de bons résultats dès que les problèmes auxquels on veut l'appliquer sont étudiés consciencieusement.

3. Travaux du Syndicat d'Etudes pour le Développement de la Traction électrique par Accumulateurs. — Il ne fallait pas seulement se limiter au cercle relativement restreint des essais, puisque ceux-ci étaient concluants ; il fallait grouper d'autres adeptes, faire connaître le problème dans son ensemble et chercher à lui gagner la faveur du public, pour faire de celui-ci un juge et un usager.

Point par point, les différentes parties du véhicule électrique furent examinées; les méthodes étrangères, comparées, et de ces échanges de vue naquirent des normes devant à l'avenir régir la construction des véhicules commerciaux à accumulateurs en Belgique. On se mit d'accord sur les types qui seraient d'un emploi le plus généralisé : chariot porteur de 750 et 1500 kg de charge utile, chariot élévateur à faible hauteur et à grande hauteur de levée de 1500 kg; chariot tracteur de 10 t; chariot camionnette de 750 et 1500 kg de charge utile.

Dans le domaine des camions, on a étudié le cas des véhicules de 750, 1500, 2500, 3500 et 5 000 kg de charge utile.

Enfin, complétant ses travaux, le syndicat précité a consacré quelques séances aux locotracteurs, aux automotrices et aux applications de la traction sur voies navigables.

4. Conclusion. — La durée d'essai, qui est d'environ cinq mois, est relativement courte pour permettre une conclusion définitive; mais on pourra toujours comparer les résultats obtenus avec ceux d'autres exploitations en service depuis plusieurs années; le point de comparaison existera et dès lors, il sera possible d'émettre un avis sur le principe même.

« Il est hors de doute, concluent les rapporteurs, que les avantages à retirer de l'emploi de véhicules à accumulateurs sont considérables et, s'il suffisait de persuader les usagers éventuels, de l'économie qu'ils réaliseraient et des facilités que leur procurerait le remplacement de camions à essence par des camions électriques, nous sommes convaincus que ce mode de transport se répandrait d'une manière très satisfaisante. »

XXI. **Discussion.** — M. Taccani (Italie) signale que dans son pays le développement des applications domestiques et des applications rurales a été entravé jusqu'à présent par des considérations fiscales et aussi, en ce qui concerne les applications rurales, par l'abondance de la main-d'œuvre, rendant moins utile qu'ailleurs le développement de l'électrification. Néanmoins,

on exécute en Italie un grand nombre d'installations d'irrigation et le Congrès de l'Unione nazionale fascista Industrie elettriche, qui s'est tenu à Rome au mois de mai dernier, s'est préoccupé de cette question.

M. Bitouzet prend la parole pour discuter la question de tarification abordée par M. Antoine. Contrairement à l'opinion de ce dernier, M. Bitouzet estime qu'il est normal d'établir des prix différents suivant les diverses utilisations de l'énergie. Il signale que des erreurs sont commises bien souvent dans le grand public et même par certains fabricants de matériel, notamment par certains constructeurs de véhicules à accumulateurs au sujet du prix de revient de l'énergie électrique. Enfin, M. Bitouzet signale également qu'en ce qui concerne, le labourage électrique, le matériel électrique, quel que soit le personnel dont on dispose, permet de faire les labourages beaucoup plus profonds et, par suite, de réaliser des rendements beaucoup plus considérables que les labourages effectués avec des chevaux ou des bœufs.

M. Gasquet (France) insiste sur les difficultés rencontrées dans la propagande pour le développement des véhicules électriques, difficultés venant surtout du temps qui a été nécessaire pour mettre au point les véhicules eux-mêmes. M. Meyer (France) fait ressortir la nécessité de veiller à la qualité du matériel, dont dépend en grande partie le succès de la propagande pour le développement des applications domestiques ; il fait également allusion aux moyens par lesquels on peut arriver à chiffrer les résultats de la propagande. Il indique qu'à Strasbourg ces résultats sont incontestables.

D'autres membres du Congrès interviennent au sujet de l'utilisation de l'énergie électrique pour les pompes d'irrigation, question signalée par M. Taccani. M. Scoumanne (Belgique) attire l'attention sur la nécessité de faire la propagande de façon très différente suivant la population à laquelle on s'adresse. C'est ainsi que l'expérience prouve qu'à la campagne les méthodes de propagande qui peuvent réussir dans les milieux urbains ne donnent pas du tout les mêmes résultats. MM. Féraud et Bitouzet (France) donnent des renseignements sur les moyens de propagande qu'ils ont employés dans les régions rurales. C'est ainsi que, pour compléter les conférences et les démonstrations publiques, qui ne sont pas toujours couronnées d'un très grand succès, certains distributeurs français ont pris l'habitude de placer des appareils chez les agriculteurs et de les y laisser pendant une certaine période limitée, à titre entièrement gratuit. L'expérience prouve presque toujours que les cultivateurs qui acceptent de prendre ainsi chez eux un appareil, à l'essai, le gardent définitivement et en font l'acquisition. MM. Rich (Grande-Bretagne) et List (Tchécoslovaquie) parlent également de la propagande dans les régions rurales de leurs pays respectifs.

Au sujet des véhicules à accumulateurs, M. Melzer (Tchécoslovaquie) signale qu'à Prague ces véhicules ne ne sont pas bien comportés sur des parcours comprenant des côtes. M. Vincent répond qu'il y a là une question de choix des accumulateurs et de rendement de ceux-ci, qu'il faut étudier soigneusement dans chaque cas particulier.

Après une intervention de M. del Buono (Italie) sur la propagande dans les milieux ruraux, M. Antoine prend de nouveau la parole pour signaler l'intérêt de faire porter les efforts de propagande sur les écoles. Il recommande d'éviter dans les questions de publicité de se préoccuper par trop du côté technique et appuie la proposition du rapporteur général de créer à l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique un centre d'informations sur les méthodes de propagande employées dans les différents pays. Il estime, notamment, qu'en ce qui concerne le développement des chauffe-eau, il serait extrêmement intéressant que l'Union recueillît une vaste documentation sur ce qui se fait dans les différents pays. M. Erens (Pays-Bas) signale les méthodes employées dans son pays pour répandre les chauffe-eau et les appareils de cuisine électriques.

Après diverses autres interventions, M. Herry (Belgique) signale que, dans la crise économique de la consommation qui règne actuellement dans le monde, il n'y a guère que les producteurs d'électricité qui ne se plaignent pas et montre que, pour pousser le public à la consommation d'un produit quelconque, il faut savoir dépenser de l'argent dans la publicité et la propagande. Il faut donc reconnaître que la question qui est à la base de tout le programme des électriciens en matière de propagande, c'est le programme financier. Dans certains pays, comme la Belgique, il ne faut pas trop compter sur la formule américaine de la vente à crédit pour le développement de la consommation des appareils d'utilisation ; mais il faut que les distributeurs se procurent auprès des financiers l'argent nécessaire pour leur action. M. Herry demande si on ne pourrait pas étudier la création d'une grande banque internationale, afin de procurer à l'industrie électrique les moyens d'intensifier ses efforts.

M. Antoine estime que la répulsion pour la vente à crédit signalée par M. Herry peut être assez facilement combattue et que, d'autre part, on peut également, dans certains cas, demander aux abonnés de laisser en dépôt chez les distributeurs une certaine somme, productive d'intérêt, sur laquelle est prélevé le montant des factures. Ce système procure aux sociétés qui le pratiquent de sérieuses facilités de trésorerie.

M. Meyer attire l'attention sur l'utilité que présente le choix des agents à qui les distributeurs confient la propagande, spécialement à la campagne. Il convient d'utiliser, plutôt que des techniciens très avertis, des agents issus eux-mêmes des milieux qu'ils doivent visiter et en connaissant parfaitement la mentalité.

M. Straszewski, rapporteur général, résume les points principaux de la vaste discussion à laquelle la question a donné lieu et insiste sur le vœu, par lequel il a terminé son rapport général, de voir créer par l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique un service central de documentation sur la question de propagande. Il insiste égale-

ment sur les indications fournies par différents orateurs sur l'utilité d'avoir du bon matériel et signale le rôle utile que jouent dans plusieurs pays les organismes qui délivrent des marques de qualité. Enfin, il rappelle l'intérêt de la question du crédit.

Le président remercie vivement M. Straszewski de son travail et propose à l'assemblée, tout en appuyant les vœux émis, de demander au Comité de Direction d'en prendre connaissance et de les mettre au point. — R. G.

VIII. Les facteurs de diversité et d'utilisation : leur influence sur l'exploitation technique et commerciale des réseaux de distribution

Cette question a fait l'objet de deux rapports, l'un de la Compagnie lorraine d'Electricité et l'autre, de M. Mathivet. Le texte de ce dernier rapport qui traite de « l'équilibrage hydraulique des stations centrales thermiques » a été publié récemment dans notre revue et nous y renvoyons le lecteur (1).

I. **Les coefficients de diversité et d'utilisation.** Rapport de la Compagnie lorraine d'Electricité. — Ce rapport de deux pages de texte contient des résultats d'exploitation permettant de se rendre compte des valeurs de ces deux coefficients ; ces résultats sont relatifs à la distribution de l'énergie dans la ville de Nancy et dans les communes suburbaines ; ils ont été établis sur la période du 1er novembre 1928 au 31 octobre 1929.

Le nombre des habitants de la région desservie est de 146000, ce qui correspond à 46 400 ménages. Le nombre total des abonnés est de 27588, dont 25592 pour l'éclairage et 1996 pour la force motrice.

La quantité d'énergie totale absorbée dans l'année considérée s'élève à 36 millions de kilowatts-heures, pour une puissance de 15700 kw dont 9700 pour la force motrice et 6000 pour l'éclairage.

Voici les durées d'utilisation moyennes et par an de l'énergie électrique, dans ses diverses applications :

1° *Eclairage :*

Eclairage public permanent.....	3 512 h, 55 kw
Eclairage public, de minuit au matin.....	2 600 h,
Eclairage de promenades publiques.....	1 120 h,
Petits magasins.....	750 h, de la puissance du compteur
Magasins avec compteur jusqu'à 20 kw.....	1 000 h,
Grands magasins alimentés en haute tension.....	800 à 1 500 h,
Banques.....	500 à 800 h,
Hôtels.....	500 à 700 h,
Petits cafés.....	800 h
Grands cafés.....	900 à 1 500 h,
Installations particulières :	
Compteur 600 w.....	200 à 250 h,
Compteur 1 100 w.....	150 à 180 h,
Compteur 2 200 w.....	100 à 110 h.

(1) J. Mathivet ; La compensation hydraulique de la charge des usines génératrices thermiques. *Revue générale de l'Électricité*, 15 mars 1930, t. XXVII, p. 419-422.

Dans ces moyennes, les appareils d'utilisation domestique n'interviennent presque pas, car seul le fer à repasser est généralisé.

2° *Force motrice :*

Alimentation en eau de la ville : 2000 à 3000 h ;
Tramways : 3000 h, de la puissance maximum absorbée, celle-ci se plaçant le dimanche ;

Applications diverses avec compteurs jusqu'à 25 kw :

40 pour 100..	100 h, de la puissance du compteur,
25 pour 100..	200 h, de la puissance du compteur,
35 pour 100..	600 à 800 h, de la puissance du compteur ;

Alimentation en haute tension :

Industrie de la chaussure.....	900 h, de la puissance souscrite
Industrie de l'alimentation.....	1 100 à 1 500 h id
Industrie de la charpente, chaudronnerie.....	1 200 h, id
Constructions électriques.....	1 200 h, id
Verreries.....	1 400 h, id
Industrie des tissages.....	1 400 h, id
Imprimeries.....	1 200 h, id
Industrie des fours de pâtissier..	1 500 à 2 400 h id
Industrie de la cimenterie.....	2 000 h, id

Industries situées en dehors des agglomérations urbaines : brasseries, 2400 h, dont 1300 de jour et 1100 de nuit ;
Papeteries, 4000 à 4500 h,
Textiles, 1800 à 3000 h.

En ce qui concerne les syndicats de communes agricoles, voici quelques données numériques de la Compagnie lorraine d'Electricité : sur 9000 habitants de la région desservie, le nombre des abonnés est de 2842 environ ; le nombre de lampes installées, de 15000 ; celui des moteurs, de 734, ce qui correspond à une puissance installée de 449 kw pour l'éclairage et de 1471 kw pour la force motrice L'énergie totale absorbée est de 245 000 kw-h, ce qui conduit à un rendement en énergie de la distribution de 52 pour 100.

II. **Discussion.** — M. List (Tchécoslovaquie) fait de sérieuses réserves sur l'avenir du système préconisé par M. Mathivet, du moins dans un certain nombre de cas. M. le président Niesz estime qu'une discussion approfondie de la question nécessiterait l'examen détaillé des chiffres donnés par M. Mathivet dans son rapport et qu'il est impossible de procéder à une telle discussion pendant un congrès. — A. C.

IX. Vérification et entretien des compteurs d'électricité

Ainsi que l'indique le titre général, les rapports présentés avaient pour but d'exposer les méthodes d'étalonnage des compteurs employées dans diverses sociétés de distribution, d'indiquer l'ordre de grandeur des erreurs admissibles de ces instruments, en cherchant à concilier les exigences réciproques des producteurs d'énergie et de leur clientèle et enfin de préciser certaines modalités relatives à l'organisation des services de vérification et d'entretien des compteurs.

I. **La vérification et l'entretien des compteurs.** Rapport général de H.-S. Hallo. — L'auteur étudie d'abord, dans ce rapport de seize pages de texte, la détermination de la limite admissible des erreurs des compteurs, tant pour les appareils neufs que pour ceux installés. Il expose ensuite les méthodes qu'il y aurait lieu d'appliquer pour l'étalonnage et la vérification des compteurs en supposant qu'il s'agisse d'appareils offrant une garantie suffisante au point de vue de leur fonctionnement tant mécanique qu'électrique.

1. Importance relative de l'exactitude des compteurs. — Si l'on suppose que les compteurs n'aient pas d'erreurs de principe, on peut conclure que l'exactitude de leurs indications aura, en général, peu d'importance. En effet, le nombre de compteurs est si grand que l'erreur résultante sera très faible. Spécialement, les erreurs des compteurs des petits consommateurs ne jouent pas de rôle appréciable. A ce sujet, l'auteur mentionne le rapport de M. Giacomo Fracanzani, directeur du Service de Recherches à la Società adriatica di Elettricità ; ce rapport, analysé plus loin, montre, pour un cas donné, que même des erreurs de 130 pour 100 sont, à ce point de vue, admissibles pour un compteur de petite consommation.

En ce qui concerne les compteurs des consommateurs importants, l'auteur est d'avis que l'emploi de compteurs très exacts, même s'ils sont coûteux, est toujours justifié. Il pourra même être rationnel d'utiliser deux compteurs se contrôlant mutuellement.

2. Laboratoires de vérification. — En Tchécoslovaquie, et en d'autres pays, un contrôle plus ou moins sévère est exercé par l'Etat au point de vue de l'exactitude des compteurs. Aux Pays-Bas, des résultats très satisfaisants ont été obtenus sans l'intervention de l'Etat, grâce au service de contrôle des compteurs de la Société anonyme pour l'Epreuve de Matériel électrotechnique, à Arnhem. C'est à cette société, disposant de puissants moyens d'action, que s'adressent les services électriques des grandes exploitations, même quand ces dernières possèdent des laboratoires d'étalonnage bien outillés.

L'auteur indique les avantages d'un tel organisme de contrôle et envisage ensuite la détermination de l'importance des erreurs admissibles au point de vue économique et technique ; des valeurs sont indiquées à ce sujet dans le rapport de M. Masa, dont le compte rendu est donné plus loin.

D'autre part, la Commission des Compteurs, instituée par l'Association des Directeurs d'Entreprises électriques des Pays-Bas, a émis des prescriptions pour divers types de compteurs neufs monophasés à 220 v et 5, 10 et 20 a, d'une part, et, d'autre part, pour des compteurs à 127 v pour 10 et 20 a. En cas de charge non inductive, les erreurs des compteurs ne devront pas excéder les valeurs de 6 pour 100 entre 3 et 10 pour 100 de la charge nominale ; 2 pour 100 et 4 pour 100 respectivement entre 10 et 150 pour 100 et 150 et 200 pour 100 de la charge nominale.

L'emploi très fréquent de transformateurs de mesure pour l'alimentation des compteurs a montré l'utilité de la réduction au minimum des erreurs dans le rapport de transformation de ces transformateurs.

L'auteur mentionne le mode d'exécution de transformateurs de courant employés par le service d'électricité d'Amsterdam, et pour lequel le compteur peut être étalonné facilement pendant le service à l'aide d'un wattmètre. A cet effet, chaque transformateur de courant comporte un seul enroulement primaire, mais deux noyaux de fer distincts et portant chacun un enroulement secondaire. L'un de ceux-ci est normalement mis en court circuit, et il n'est employé que pour l'étalonnage. Pendant le service, on peut étalonner les compteurs pour les différents états de charge, en connectant cet enroulement de mesure à un wattmètre de précision. Etant donné que les erreurs d'un transformateur de courant dépendent également de son impédance secondaire, ce procédé entraîne, en principe, une erreur d'étalonnage, mais qui peut être maintenue très faible par un choix approprié des transformateurs.

3. Conclusions. — L'auteur estime, en résumé, qu'il y a lieu d'observer les règles suivantes :

1° Eviter de réduire par trop le prix et la consommation propre d'énergie des compteurs ;

2° Employer, pour les installations de faible puissance des compteurs qui enregistrent déjà à 0,3 de la charge nominale, et qui puissent être surchargés ;

3° Abstraction faite de cas spéciaux, les erreurs des compteurs ne devront pas augmenter de plus de 2 pour 100, même après quinze années de service. Il est désirable de remplacer au plus vite les anciens compteurs qui ne satisfont pas à cette exigence ;

4° Pour les installations importantes alimentées en haute tension, il faudra employer des transformateurs de mesure ayant des erreurs minimes, de sorte qu'on n'aura à tenir compte que des erreurs du compteur et

qu'il ne sera pas nécessaire de changer les transformateurs de mesure en cas de remplacement du compteur, ceci, dans le but d'éviter les interruptions de service. Ici, la différence de prix des transformateurs ne joue pas un rôle appréciable. Il est recommandable de ne pas connecter d'autres appareils à ces transformateurs ;

5° Les méthodes employées par les services d'électricité pour étalonner et pour ajuster leurs compteurs devront être contrôlées par l'Etat, ou mieux encore par une institution privée qui n'est pas en relation de service avec ces entreprises. Les résultats obtenus seront contrôlés par des épreuves dans les installations d'un certain nombre de clients choisis au hasard ;

6° L'ajustage des compteurs ne devra pas avoir lieu pendant qu'ils se trouvent dans les installations, mais uniquement dans un laboratoire bien outillé.

II. **Considérations sur les limites de précision de la mesure de l'énergie électrique en haute tension.** Rapport de Renesson, ingénieur principal des Services électriques de l'Energie électrique du Nord de la France. — Ce rapport de six pages de texte a trait à la mesure de l'énergie active en courant triphasé sensiblement équilibré au moyen de compteurs alimentés par transformateurs de mesure.

1. Précision des transformateurs de mesure. — L'auteur envisage tout d'abord la question de la précision des transformateurs de mesure. Ces derniers sont construits pour des tensions jusqu'à 60 000 v et leurs limites de précision sont connues de façon exacte pour un prix d'achat déterminé; mais, d'une façon générale, on peut dire qu'il suffit d'accepter un supplément de dépenses de 30 à 40 pour 100 par rapport au coût des transformateurs de courant répondant aux règles actuelles de l'Union des Syndicats de l'Electricité pour pouvoir acquérir des transformateurs de courant dont les caractéristiques sont telles que, pour une charge de 15 v-a, l'erreur sur le rapport de transformation n'excède pas $\pm$ 0,5 pour 100 pour des intensités de courant comprises entre un cinquième et un dixième de cette valeur ; l'erreur sur l'angle de phase ne devra pas dépasser 40 minutes dans le premier cas et 60 minutes dans le second cas.

En ce qui concerne les erreurs susceptibles de provenir des transformateurs de tension, il est possible de construire un tel appareil de manière à obtenir un rapport de transformation exact et une égalité de phases entre les vecteurs de tension primaire et de tension secondaire.

L'auteur indique que, même dans les conditions exceptionnelles suivantes, c'est-à-dire un courant variant du courant normal au dixième de cette valeur et un facteur de puissance variant dans les limites très larges, soit entre 0,5 en avance et 0,5 en retard, l'erreur due aux transformateurs de mesure oscille entre + 0,6 et — 1,5 pour 100 de la puissance enregistrée qui, elle-même, est susceptible de varier entre la pleine charge et le vingtième de la charge normale.

2. Compteurs. — L'auteur rappelle qu'en dépit des perfectionnements apportés à la réalisation des compteurs, les résultats obtenus n'ont pu suivre les progrès réalisés dans l'amélioration des transformateurs de mesure. Les compteurs, même ceux dits de précision, présentent des défauts non négligeables inhérents à diverses causes qui sont examinées dans le rapport qui nous occupe ; c'est-à-dire l'influence des frottements, des variations de température et des variations de facteur de puissance.

Un compteur triphasé de bonne fabrication courante, soigneusement mis au point, utilisé à température constante, sur un circuit sensiblement équilibré où le facteur de puissance reste compris entre 1 et 0,5 pour un sens de déphasage bien déterminé, peut être étalonné de façon que ses écarts d'enregistrement restent compris dans une bande de 2 pour 100, du quart de charge à la pleine charge, compte tenu des erreurs dues aux transformateurs de mesure.

Au-dessous du quart de charge, l'écart ne dépend plus de données scientifiques et devient un compromis instable entre des conditions électriques et des conditions mécaniques.

Si la température varie, au cours de l'utilisation du compteur, de + 16°C et de — 18°C par rapport à la température à laquelle s'est fait l'étalonnage, la bande des erreurs s'élargira d'environ 4 pour 100 et sera portée au total à 6 pour 100.

Si le sens du déphasage change, l'une des limites de la bande se déplacera d'au moins 2 pour 100, et la largeur de la bande se trouvera augmentée ou réduite suivant le type de compteur considéré.

3. Conclusion. — Le réglage et l'emploi des groupes de comptage à haute tension entraînent des sujétions importantes et laissent place à l'éventualité d'erreurs d'enregistrement encore notables, lesquelles ressortent des compteurs proprement dits, c'est pourquoi il est souhaitable que des perfectionnements soient apportés à ces appareils.

III. **La vérification et l'entretien des compteurs.** Rapport de P. Masa, ingénieur à la Société Zapadomoravski-electrarny. — Dans ce rapport de cinq pages de texte, l'auteur expose les modalités de vérification des compteurs en Tchécoslovaquie, vérifications officielles effectuées suivant les prescriptions en vigueur depuis le 4 juin 1926, soit à un bureau central chargé de ce service d'étalonnage, à Prague, soit chez les constructeurs ou dans les usines génératrices, auquel cas les opérations sont exécutées à l'aide d'appareils munis du sceau officiel et avec l'assistance d'un agent du bureau central mentionné ci-dessus.

L'auteur indique un certain nombre de conditions auxquelles doivent répondre les compteurs ; parmi

celles-ci nous avons indiqué seulement l'importance des erreurs admissibles dans le tableau I.

TABLEAU I. — *Valeurs limites des erreurs des compteurs à courant continu et à courant alternatif.*

Courant en centièmes du courant nominal.	100	100	50	10
Facteur de puissance.	0,5	1	1	1
Compteurs à courant continu : erreur, en centièmes.....		3	3	6
Compteurs à courant alternatif : erreur, en centièmes.....	4,5	3	3	6

Le compteur ne doit pas fonctionner à vide, même sous une tension augmentée de 10 pour 100. Il doit démarrer à la charge suivante : les compteurs à courant continu au-dessous de 2 kw, 2 centièmes de la charge nominale ; au-dessus de 2 kw, 1,5 centième; les compteurs à courant alternatif, 1 centième. Mais, en pratique, c'est seulement la limite admissible, et la précision des compteurs est beaucoup plus élevée, surtout quand il s'agit de compteurs d'une puissance plus grande.

IV. **L'organisation industrielle du service de mesures d'une grande entreprise d'électricité.** Rapport de Giacomo FRACANZANI, directeur du Service de Recherches à la Società adriatica di Elettricità. — Dans ce rapport de dix-sept pages de texte, l'auteur examine d'abord l'approximation maximum réalisable dans les mesures industrielles, en particulier dans celles fournies par les compteurs d'énergie électrique, en tenant compte des divers intérêts en jeu. Il indique ensuite les dispositions propres à garantir en tout temps la précision des mesures et envisage en dernier lieu la détermination du rendement d'une usine génératrice et de ses éléments constitutifs,

1. APPROXIMATION MAXIMUM RÉALISABLE, — Si on considère que les désavantages d'un enregistrement défectueux de l'énergie consommée chez les abonnés sont supportés par le fournisseur et que dans l'ensemble l'erreur de mesure est approchée par défaut, il faut, réduire cette dernière par le choix rationnel des instruments, leur étalonnage exact et leur vérification rigoureuse.

L'approximation maximum s'obtient en partant des étalons principaux, pile étalon et résistance-étalon, employés pour établir une série de wattmètres.

Le groupement de la Società adriatica di Elettricità a établi depuis dix ans, dans ce but, un laboratoire de précision, où l'on apporte à intervalles réguliers les wattmètres étalons de chaque société affiliée et tous les wattmètres et compteurs pour vérifications, de façon à ne point impliquer d'erreurs ; pour garantir la conservation de l'étalonnage de ces derniers, on se sert de wattmètres étalons différents. Pour l'étalonnage des compteurs, on adopte également un ordre pour ainsi dire hiérarchique, puisque pour les mesures plus importantes on se sert encore d'instruments étalons et pour les moins importantes, de compteurs de contrôle.

Un wattmètre dit fondamental ayant été constitué, chaque compagnie associée au groupement de la Società adriatica di Elettricità est pourvue d'un wattmètre étalon qui forme le point de départ de toutes les mesures et est vérifié régulièrement avec le premier.

Les wattmètres étalons servent à contrôler les wattmètres de vérification utilisés à l'étalonnage des compteurs. Dans ces conditions, l'erreur commise dans l'étalonnage des compteurs est de ± 0,108 pour 100 en ce qui concerne les wattmètres ; d'autre part, les wattmètres de vérification et les compteurs étalons étant étalonnés directement sur le wattmètre fondamental, l'erreur se réduit à ± 0,075 pour 100.

Relativement aux approximations admises dans les mesures, l'auteur estime que dans un groupe de 10 000 abonnés pour l'éclairage, l'erreur probable totale, en tenant compte de la compensation des erreurs, atteindra seulement 1 pour 100 de chaque erreur particulière ; de sorte que, si l'on exigeait l'approximation totale de ± 0,075 pour 100, indiquée plus haut, il suffirait pour chaque mesure d'une approximation de ± 7,5 pour 100. Mais les abonnés pour l'éclairage, même si l'on tient compte séparément de chaque société du groupement en question, forment des groupes beaucoup plus importants, puisqu'on atteint au total 350 000 abonnés; par conséquent, on pourrait admettre pour chaque abonné une erreur considérable, même si l'on tient compte de ce que la plupart des erreurs sont par défaut et par conséquent à la charge du distributeur. En se bornant à la tolérance normale de ± 5 pour 100, on reste dans les limites d'une prudence absolue; si, d'autre part, l'erreur ne dépasse pas ± 3 pour 100, on arrive à une approximation excédant de beaucoup celle qu'on peut atteindre pour la force motrice. De toute façon, l'erreur totale est négligeable par rapport à l'approximation maximum de 0,075 pour 100 qu'il est possible de réaliser.

L'auteur estime qu'il est nécessaire de pousser chez les abonnés importants la précision de l'étalonnage. Il faut se garder toutefois des exagérations, c'est-à-dire de multiplier le nombre des essais, avec une perte de temps considérable, pour atteindre une approximation supérieure à celle que peut donner le compteur.

L'auteur montre que l'erreur probable introduite par les mesures chez les abonnés n'est que de 0,007 pour 100, c'est-à-dire un dixième de l'erreur fondamentale.

Par suite, même en supposant adoptées pour les erreurs admissibles des limites dépassant les valeurs habituelles, on arrive au total à une très petite erreur, qui correspond parfaitement à la plus grande précision réalisable dans les mesures industrielles.

En ce qui concerne les transformateurs de mesure destinés à l'alimentation des compteurs, l'auteur indique pour valeurs de l'erreur probable des mesures rapportées à la charge moyenne : ± 0,3 pour 100 pour les transformateurs de tension ; ± 0,6 pour 100 pour

les transformateurs de courant et ±0,7 pour 100 pour les compteurs qu'ils alimentent.

2. Moyens propres a garantir la précision des mesures. — L'auteur traite des causes susceptibles d'altérer le fonctionnement des compteurs et signale les résultats satisfaisants donnés par l'essai d'échauffement adopté au laboratoire de recherches de la Società adriatica di Elettricità. On choisit un certain nombre de compteurs pour chaque partie; on les contrôle avec le plus grand soin, après quoi on les soumet pendant quatre heures. à un réchauffement uniforme sous 60°C. Ensuite les compteurs sont contrôlés à la même température qu'au commencement. Pour quelques types, on a relevé des différences atteignant + 6 à 7 pour 100 et ce sont ceux qui en pratique subissent une altération plus rapide. Quelques types, mais en minorité absolue, donnent par contre des différences par défaut, en raison de défauts dans la lubrification ou peut-être de déformations mécaniques.

De tels essais ont une très grande importance. Pour qu'un compteur soit adopté par la société précitée, les différences relevées ne doivent pas dépasser 1,5 pour 100 par excès et — 0,5 pour 100 par défaut, car les effets de l'échauffement sont plus considérables que ceux dus aux aimants.

Afin de déterminer les conditions dans lesquelles ont lieu les mesures après l'installation des compteurs, la Società adriatica di Elettricità a organisé un service de vérification s'effectuant au moyen d'une double série de contrôles s'effectuant en sens inverse l'un de l'autre entre les postes de transformation et les installations d'abonnés et suivant diverses modalités indiquées dans le rapport original.

V. **Règlements officiels concernant la vérification et le poinçonnage des compteurs d'électricité et des transformateurs de mesure considérant surtout les prescriptions en vigueur en Pologne.** Rapport de Joseph Rzasnicki, ingénieur E.P., ingénieur électricien, membre du Bureau national des Mesures à Varsovie. — Ce rapport de huit pages de texte est un exposé des bases des règlements officiels polonais concernant les compteurs d'électricité et les transformateurs de mesure en usage dans les distributions publiques d'énergie électrique. Ces règlements contiennent les prescriptions concernant les conditions d'admission des types de compteurs d'électricité et de transformateurs de mesure à la vérification et au poinçonnage; celles concernant la vérification et le poinçonnage officiel des compteurs d'électricité et transformateurs de mesure; les prescriptions concernant les limites d'erreurs pour les compteurs d'électricité et transformateurs de mesure en service sur les réseaux de distribution publique; celles concernant la vérification des compteurs d'électricité en vue de leur poinçonnage et les obligations des institutions autorisées à procéder à la vérification et au poinçonnage; la prescription concernant la vérification des compteurs d'électricité et transformateurs de mesure en vue de leur poinçonnage officiel; les prescriptions concernant les instruments nécessaires à la vérification et au poinçonnage des compteurs d'électricité; les redevances pour la vérification et le poinçonnage des compteurs d'électricité et transformateurs de mesure; les autorisations de vérifier et poinçonner les compteurs d'électricité par des institutions et des personnes n'appartenant pas au Service des Poids et Mesures; les prescriptions sur la surveillance exercée sur les compteurs d'électricité, en service dans les distributions publiques d'énergie électrique pour mesurer l'énergie vendue; les dispositions transitoires relatives à l'ordonnance concernant les conditions d'admission à la vérification et au poinçonnage des types de compteurs d'électricité et transformateurs de mesure et à l'ordonnance concernant la vérification et le poinçonnage officiels des compteurs d'électricité et des transformateurs de mesure.

VI. **L'organisation du service des compteurs dans les usines centrales d'électricité.** Rapport de Boleslaw Jablovski, ingénieur électricien I. E. N. — Dans ce rapport de vingt-deux pages de texte avec quatre diagrammes, l'auteur définit d'abord la qualité d'un compteur et le choix du type; il traite ensuite de l'organisation d'un laboratoire d'étalonnage, des statistiques des avaries des compteurs et des travaux de réparation et d'entretien exécutés à l'atelier. Il termine par diverses considérations sur le montage des compteurs et l'organisation du bureau du département des compteurs d'une société de distribution d'énergie.

1. Qualités d'un compteur. — L'auteur divise les avaries susceptibles d'affecter un compteur en avaries visibles et invisibles. Les premières sont provoquées par échauffement exagéré des circuits dus à une surcharge excessive constante ou temporaire ou par rupture du circuit de tension. Elles obligent à échanger le compteur endommagé contre un autre. Les avaries invisibles ont pour cause des modifications magnétiques des aimants ou l'usure du mécanisme. Celles conditionnées par des influences mécaniques se révèlent au dixième de la charge ainsi qu'au démarrage; elles tendent toujours à donner aux erreurs un signe négatif. Les autres avaries d'origine magnétique influent sur les erreurs à 100 pour 100 de la charge en augmentant ces dernières dans le sens positif.

L'auteur appelle « facteur de qualité » d'un compteur le rapport du nombre d'avaries survenues annuellement au nombre de compteurs de ce type installés chez les abonnés.

2. Organisation du laboratoire. — Les compteurs sortant des fabriques présentent des erreurs comprises entre + 3 pour 100 et — 3 pour 100. Durant leur transport un certain nombre de pièces peuvent se desserrer ou se perdre, d'où l'utilité d'une revision avant la mise en place et d'un réglage précis dont le but est

de donner aux compteurs une erreur initiale déterminée, soit 0 pour une charge de 100 pour 100, et + 1,5 pour 100 pour une charge de 10 pour 100.

L'auteur expose ensuite les méthodes de mesure du temps et de la puissance et indique les moyens adoptés pour stabiliser les corrections des instruments de mesure. La question de l'organisation proprement dite des laboratoires de vérification fait l'objet de développements étendus.

3. Statistiques des avaries. — A ce sujet, diverses considérations conduisent l'auteur aux conclusions suivantes :

L'auteur est partisan d'un échange périodique ou anticipé des compteurs, c'est-à-dire de la pose chez l'abonné d'un nouveau compteur et de la réparation et du réglage du compteur enlevé, uniquement dans l'usine génératrice.

Une autre méthode est cependant répandue, qui consiste en ce que l'usine reçoit des compteurs vérifiés et étalonnés par le laboratoire de l'Etat. Un semblable compteur est installé chez l'abonné et soumis déjà après un mois de travail à un contrôle sur place par le personnel de l'usine. Ce contrôle consiste pour la plupart des compteurs en une mesure de deux genres d'erreurs : 1° l'erreur pour un dixième de charge et le démarrage du compteur ; 2° l'erreur pour la charge totale.

Après un certain temps de travail du compteur chez l'abonné, par exemple, neuf ans pour les compteurs à courant alternatif jusqu'à 100 kw et trois ans pour tous les autres, à l'exception des compteurs électrolytiques et à mercure, le compteur devrait être remplacé chez l'abonné par un autre, et l'ancien, retourné à l'usine pour être examiné, réparé à l'atelier et réglé au laboratoire.

Il est indispensable de vérifier une partie des compteurs enlevés, par exemple, 1 à 2 pour 100, dans le laboratoire pour estimer les erreurs qui, conjointement aux erreurs obtenues durant la vérification du compteur chez l'abonné, constitueront d'excellentes données complétant la statistique des avaries que subissent un certain nombre de compteurs sur le réseau.

La dernière remarque concernant les conditions d'exploitation les plus économiques d'un service de compteurs est la suivante : le système le plus rationnel sera celui qui sera fondé sur le plus petit nombre de types de compteurs, mais foncièrement connus.

4. Organisation des ateliers. — L'atelier doit posséder deux sections distinctes, la première, affectée au nettoyage et à la réparation des parties extérieures du compteur et la seconde, aux travaux des parties intérieures de l'appareil.

Les aimants doivent être examinés au fluxmètre; le graissage des crapaudines et pivots doit se faire à l'huile minérale soigneusement distillée.

Les minuteries doivent faire l'objet d'un examen très attentif. Enfin un compteur réparé doit être soumis à une épreuve d'isolement par courant alternatif à une tension d'au moins 1 000 v.

VII. **La vérification et l'entretien des compteurs.** Rapport de Albert Derdeyn, ingénieur à la Société d'Electricité de l'Escaut. — Le but poursuivi dans l'élaboration de ce rapport de dix-huit pages de texte est d'établir aussi exactement que possible ce que sont les considérations qui régissent actuellement en Belgique les questions relatives à la vérification et à l'entretien des compteurs. Ce travail a requis la collaboration des membres de l'Union des Exploitations électriques en Belgique à qui un questionnaire général rédigé en conséquence avait été adressé.

Les réponses obtenues ont conduit pour divers problèmes à l'exposé de solutions contradictoires et l'essentiel des conclusions qui peuvent en être tirées peut être indiqué comme suit :

a) Le nombre d'abonnés par kilomètre carré de surface de réseau varie de 24 à 254 ;

b) 70 pour 100 des exploitants préconisent la vérification sur place des compteurs ;

c) La généralité des exploitants considère l'entretien et la vérification comme une seule et même opération, sans faire de distinction entre les diverses catégories de compteurs ;

d) Plusieurs exploitations considèrent que l'entretien se résume à la surveillance de la marche normale du compteur par le personnel chargé de relever les index. Ce personnel doit donc être très au courant des questions relatives aux compteurs et à leurs anomalies de fonctionnement ;

e) Sur une question posée relative à l'entretien des plaques de base rongées par la rouille ou les émanations acides, plusieurs exploitants préconisent le traitement à l'émail, au vernis, à la peinture antirouille, etc. D'autres sont d'avis qu'il faut exiger le déplacement du compteur. A ce sujet le personnel chargé des relevés doit signaler les changements de destination des locaux ;

f) L'auteur est d'avis que les exploitants doivent faire procéder à un nettoyage et à une vérification des compteurs lors de leur livraison par le fournisseur ;

g) Au point de vue de l'importance des équipes il résulte des réponses obtenues qu'en règle générale les vérifications sur place se font par un seul agent ; seulement le nombre de compteurs vérifiés par jour et par agent varie de 2 à 10. Ces derniers chiffres ne sont pas discutables, car tout dépend de l'état des compteurs ; pour les sociétés qui ne procèdent à la revision que des compteurs avariés, le chiffre minime de 2 peut encore constituer un très bon rendement ;

h) Sur la question de savoir si, dans les installations à haute tension, la vérification par cellule de contrôle est indispensable et de quel ordre de grandeur est l'écart trouvé entre les indications d'un compteur étalonné en basse tension et celles du compteur branché sur la cellule de contrôle, la diversité des réponses ne permet de tirer aucune conclusion : si 15 pour 100 des réponses signalent la vérification par cellule de contrôle

indispensable sans donner de plus amples explications, 30 pour 100 ne jugent ce procédé nécessaire que pour les gros consommateurs, et partie de celles-ci ajoutent que les vérifications périodiques se font par wattmètres branchés sur les cellules existantes ; 55 pour 100 jugent que le procédé n'est pas indispensable et qu'ils ne procèdent ainsi qu'exceptionnellement sur demandes expresses d'ingénieurs-conseils exigeants ou en cas de vérifications contradictoires.

L'auteur est d'avis que, comme vérification, celle par cellule de contrôle est la seule qui donne des indications exactes, mais elle ne saurait, dans la généralité des cas, conduire sur place à un étalonnage satisfaisant du compteur à vérifier à toutes les charges et facteurs de puissance, et le fait de modifier les indications du compteur d'après la charge du moment pourrait conduire à de graves mécomptes si jamais le client faisait varier la puissance ou le mode de travail de son usine. Certes on peut se rapprocher de la réalité en laissant la cellule de contrôle en service pendant plusieurs jours et en prenant note des durées des diverses charges de l'usine et des divers écarts qui ont pu se présenter entre le compteur soi-disant étalon et le compteur à vérifier.

Quant aux écarts signalés, ils varient de 4 à 6 pour 100.

VIII. **Discussion.** — Plusieurs congressistes donnent des renseignements d'ordre essentiellement pratique sur les procédés employés dans leurs sociétés pour la vérification des compteurs. M. Rabinovici (France) signale notamment les essais de la Compagnie Ouest-Lumière réalisant la mesure de l'usure des organes de pivotage, par le moyen d'une machine décrite dans ces colonnes (1) qui a permis la mise au point d'une crapaudine et d'un pivot pratiquement inusables. Ladite compagnie invite ceux que la question intéresse à visiter ses installations à Paris.

M. Meyer (France) fait des réserves sur quelques-unes des conclusions présentées dans certains rapports en ce qui concerne, d'une part, le contrôle des compteurs et, d'autre part, les types de compteurs à admettre chez les abonnés.

Après échange de vues auquel prennent part plusieurs congressistes, notamment M. Bakker (Pays-Bas), l'Assemblée décide, sur la proposition du président, de n'émettre aucun vœu en ce qui concerne la question des compteurs. — L. V.

X. Régularisation de la charge des usines génératrices d'énergie électrique

Deux rapports ont été présentés sur ce sujet, l'un de M. le professeur Wyssling, rapporteur général, le second, de M. O. Ghetti.

I. **Egalisation de la puissance à fournir par les centrales d'électricité.** Rapport général de W. Wyssling (Suisse). — Dans ce rapport de douze pages de texte, avec quatre figures dans le texte, les considérations exposées par l'auteur concernent les résultats obtenus en Suisse dans le but d'obtenir l'égalisation de la puissance à fournir par les usines génératrices.

1. La variation de la puissance demandée et son atténuation. — Les variations de la puissance demandée à une usine génératrice hydroélectrique constituent une difficulté dans la meilleure utilisation de l'énergie hydraulique, surtout s'il vient s'ajouter des variations de la puissance disponible. La puissance demandée varie avec une certaine périodicité, sans que cependant les variations au cours d'une période soient absolument identiques. Pour pouvoir améliorer la situation il faut considérer que dans la courbe des variations de puissance, on se trouve en présence de deux ondes de périodes respectivement égales à une année et à un jour. Ces deux ondes n'ayant pas les mêmes causes, les moyens pour en atténuer les amplitudes ne seront pas non plus les mêmes. En général, on établit d'abord la courbe de la variation des puissances pendant les vingt-quatre heures d'une journée ouvrable. La courbe du samedi et du dimanche s'en écarte légèrement. En Suisse, la puissance hebdomadaire moyenne n'est que de 92 pour 100 de la puissance moyenne nécessaire le mercredi.

L'énergie absorbée par l'éclairage ne représente en Suisse que 8 pour 100 de l'énergie électrique utilisée, mais la puissance nécessaire étant fournie durant un petit nombre d'heures est partout encore très sensible.

L'énergie absorbée par l'industrie, principalement pour la force motrice, représente aujourd'hui le débouché principal des producteurs d'énergie électrique et ne varie en général pas avec la saison, de sorte qu'aujourd'hui, la puissance débitée n'est au total pas beaucoup plus grande en hiver qu'en été. Il en était autrement au début, lorsque l'éclairage était la principale raison d'être des usines génératrices d'énergie électrique. Quant aux nouvelles applications thermiques, elles n'ont, en Suisse au moins, pas fait réapparaître dans les diagrammes saisonniers les maxima et les minima qu'ils présentaient autrefois, parce que l'emploi pour le chauffage en hiver n'est pas très important. A titre d'exemple, l'auteur cite le cas d'une usine dont les puissances moyennes hebdomadaires variaient, en 1891, de 50 pour 100 à 180 pour 100 de la moyenne annuelle. En 1925, ces chiffres sont devenus 80 pour 100 et 125 pour 100.

Pour l'ensemble des usines suisses, en 1929, on a réussi à débiter en été une puissance moyenne plus grande qu'en hiver, c'est-à-dire 112 pour 100 environ

(1) G. Grunberg ; Les organes de pivotage des compteurs d'électricité. *Revue générale de l'Electricité*, 23 août 1930, t. XXVIII, p. 273-282.

de la puissance annuelle moyenne en été, contre 85 pour 100 en hiver. Les conditions varient d'un pays à l'autre, mais les chiffres précités montrent que les variations saisonnières peuvent, dans certains cas, être éliminées complètement.

Les moyens employés pour atténuer les variations saisonnières consistent à fournir de l'énergie aux installations qui demandent plus d'énergie en été qu'en hiver, notamment aux installations de pompage pour l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation et à certaines industries électrochimiques et électrométallurgiques qui peuvent travailler en été pour la constitution des stocks.

Un autre débouché peut être trouvé dans les industries thermiques qui peuvent utiliser de l'énergie électrique au lieu de combustible. La concentration des liquides dans le vide, dans l'industrie textile par exemple, est assez avantageuse parce qu'une partie de l'énergie nécessaire peut être fournie sous forme de travail mécanique pour la commande des pompes à vide.

Il faut également tenir compte que l'exportation saisonnière peut servir à réduire les minima obtenus en été sur les diagrammes annuels. De plus, dans les installations hydrauliques on rencontre aussi des échanges saisonniers d'énergie entre deux régions de caractère hydrologique différent. Enfin l'utilisation saisonnière de l'énergie électrique au pompage de l'eau dans les bassins d'accumulation peut aussi contribuer à l'égalisation du diagramme annuel.

Si actuellement la variation des besoins pendant la journée n'a plus beaucoup d'importance en Italie et en Suisse, grâce à l'utilisation des réservoirs hydrauliques, il est possible qu'il n'en sera pas toujours ainsi et que l'interconnexion des réseaux ne constituera pas une solution suffisante. En Suisse, comme ailleurs, on construit aujourd'hui de grandes usines à basse chute, où il n'est pas possible de prévoir des réservoirs de compensation. Aussi doit-on toujours chercher à atténuer la variation journalière de la demande d'énergie.

Les causes de la variation journalière des puissances demandées par la clientèle résident pour une bonne part dans la fixation des heures de travail et dans les applications de l'énergie achetée. L'auteur examine des cas particuliers d'usines hydrauliques et thermiques et montre que, même pour les usines thermiques, il y a intérêt à uniformiser la charge.

Dans une usine hydraulique le prix de revient, en centimes suisses, par kilowatt-heure varierait de 0,8 pour la pleine charge, à 1,6 pour la demi-charge et à 3,2 pour le quart de la charge. Dans les mêmes conditions, dans une usine thermique, le prix du kilowatt-heure varierait de 2,1 à 2,7 et à 3,8.

En Suisse, un facteur d'utilisation, défini comme le rapport de la puissance moyenne débitée à la puissance maximum débitée, égal à 0,2, était normal en 1893 pour une usine servant à l'éclairage, mais en 1921 ce facteur était déjà égal à 0,74.

L'auteur cite les moyens employés pour obtenir la constance de la puissance demandée au cours des vingt-quatre heures, c'est-à-dire pour assurer la vente d'énergie disponible la nuit. Avant la guerre, déjà, certaines usines ont pu améliorer le facteur d'utilisation de 0,2 à 0,4 et plus.

La vente de l'énergie en dehors des heures bloquées pour l'alimentation des chauffe-eau des ménages et des artisans a pris en Suisse, simultanément avec le perfectionnement de ces appareils, des proportions très considérables.

Une amélioration est possible aussi par de nouveaux débouchés qui, tout en augmentant la puissance maximum débitée, l'augmentent dans une proportion moindre que la puissance moyenne. Bien que, pour ces débouchés, le blocage ne soit pas nécessaire, on peut obtenir un plus grand effet en engageant le consommateur à faire usage de l'énergie de préférence en dehors des heures de pointe. On obtient ce résultat en fixant un prix de l'énergie plus haut pendant les heures de pointe, c'est-à-dire en introduisant ce qu'on appelle la tarification double, triple ou multiple.

Il existe d'autres débouchés dont les maxima ne coïncident pas avec le maximum général préexistant et dont l'introduction améliore aussi le degré d'utilisation. La cuisine électrique et l'alimentation des tramways rentrent dans cette catégorie.

2. La variation des puissances disponibles. — Les débits d'eau des rivières ne varient en général pas aussi rapidement que le débit en énergie des usines. On peut les considérer comme constantes au cours d'une journée. La variation au cours de l'année est, par contre, considérable et dépend des conditions hydrologiques. Son allure générale, différente d'une région à l'autre est, en gros, semblable chaque année, mais présente cependant des écarts considérables d'une année à l'autre. Elle est d'autant plus gênante que le minimum des débits d'eau concorde souvent avec la demande maximum d'énergie électrique.

Pour améliorer la situation, l'exploitant doit tendre vers une constance approximative de la puissance disponible. L'accumulation d'eau dans les bassins saisonniers, c'est-à-dire susceptibles d'emmagasiner l'eau affluant pendant plusieurs mois, a permis en Italie et en Suisse une régularisation plus grande encore de cette puissance disponible.

La Suisse a installé des réservoirs saisonniers il y a vingt ans déjà; l'ensemble de ses réservoirs permet d'emmagasiner environ 400 millions de kilowatts-heures, alors que la production d'énergie totale est d'environ 5 milliards de kilowatts-heures. L'Italie, de son côté, a aménagé ces dernières années des réservoirs permettant d'y emmagasiner un peu plus de 700 millions de kilowatts-heures. Il est à noter que les réservoirs peuvent être remplis non seulement par l'afflux naturel, mais aussi par pompage, en utilisant l'excédent d'énergie dont on dispose à certains moments dans les usines au fil de l'eau. Ce procédé n'est pas applicable partout; il est employé en grand aux usines du Wäggital, en Suisse.

Suivant les conditions locales, on peut trouver plus avantageux d'installer des usines thermiques de secours ou de créer des réservoirs d'accumulation.

Dans les pays à chute d'eau, il sera dans tous les cas toujours avantageux de prendre les mesures commerciales qui peuvent augmenter les débouchés pendant la saison où la disponibilité en énergie hydraulique est maximum, c'est-à-dire généralement en été dans la majorité des pays européens.

Les mesures d'ordre commercial et technique pour influencer les débouchés et pour égaliser la disponibilité sont naturellement à prendre simultanément si l'on veut atteindre un maximum de rentabilité des installations.

II. **Réduction des pointes de charge et utilisation de l'énergie résiduelle**. Rapport de O. Ghetti. — Ce rapport de sept pages de texte signale que, d'après les statistiques les plus récentes de l'Unione nazionale fascista Industrie elettriche, laquelle tient compte d'environ 86 pour 100 de la production totale du royaume, sur 9 340 000 000 kw-h d'énergie produite et importée en 1929, la production thermique a représenté 3,2 pour 100 et l'énergie importée, 2,6 pour 100. D'après ces mêmes statistiques il y avait en Italie, au 31 décembre 1929, dans les usines de production une puissance installée de 3 639 000 kw dont 2 963 000 dans les usines hydrauliques et 676 000 dans les usines thermiques.

1. L'énergie résiduelle et son utilisation. — Il peut y avoir excédent d'énergie momentané, qui se produit à des périodes données du jour, de la semaine ou de l'année, et aussi une énergie résiduelle permanente et continuelle. Ce dernier cas se produit, par exemple, au début de la mise en service d'une nouvelle installation de production. On commence à trouver un excédent permanent de la disponibilité sur la consommation dans la courbe de charge journalière. Le gaspillage d'énergie est de ce fait presque nul grâce aux installations à réservoir qui existent dans ce pays en nombre suffisant pour assurer la compensation. Il n'y a donc lieu d'examiner que le déséquilibre entre l'énergie disponible et la demande qui a lieu dans les différentes saisons.

Il ressortirait d'une étude entreprise en 1922-1923, par le Comité hydrotechnique italien, créé par l'Association électrotechnique italienne, pour évaluer la quantité d'énergie moyenne déficitaire à la suite des basses eaux des installations de production que, pour les installations lombardes et piémontaises, le déficit moyen de puissance pendant l'hiver atteint 58 pour 100 de la puissance maximum et que le déficit moyen d'énergie en temps normal représente 15,6 pour 100 de la quantité totale d'énergie à placer annuellement par rapport à la puissance.

Pour la Vénétie, le déficit serait de 53 pour 100 pour la puissance et de 10,4 pour 100 pour l'énergie. Si cependant on tient compte des basses eaux d'été, présentées par les fleuves de la Vénétie, on arrive au résultat suivant : le déficit d'énergie moyen pour l'Italie du nord, soit 75 pour 100 des installations italiennes, est environ de 15 pour 100 par rapport à l'énergie totale. Ce déficit peut être évalué, en moyenne, à 1 milliard de kilowatts-heures. L'auteur fait remarquer toutefois qu'il est en grande partie compensé par les réservoirs existants, très nombreux dans la chaîne des Alpes.

Toujours d'après les statistiques, on aurait eu en 1929 environ une cinquantaine de réservoirs avec un volume utile de 390 000 millions de mètres cubes et une quantité correspondante d'énergie productible, de 700 millions de kilowatts-heures On pourrait en déduire qu'il suffit d'une compensation ultérieure d'environ 300 millions de kilowatts-heures pour combler complètement le déficit des basses eaux des installations des Alpes de façon à rendre leur disponibilité d'énergie uniforme pendant toute l'année. Mais cette énergie résiduelle pourrait s'accroître considérablement, si l'exploitation des débits était poussée au-delà de la limite que l'on a cru devoir utiliser jusqu'à présent, c'est-à-dire du débit disponible pendant sept ou huit mois de l'année.

Quoi qu'il en soit, l'énergie résiduelle non compensée pourrait être utilisée en la régularisant soit par voie hydraulique, au moyen de réservoirs et d'installations de pompage, soit par voie thermique, au moyen d'usines thermiques. Cette solution paraît préférable à l'utilisation directe pour usages saisonniers.

Si on suppose une énergie résiduelle évaluée à 0,05 fr le kilowatt-heure et si pour quatre mois de l'année la compensation est faite par voie thermique, à un prix évalué à 0,20 fr le kilowatt-heure, l'énergie sera disponible à un prix moyen de 0,10 fr, prix qu'il n'est pas toujours possible d'obtenir avec les nouvelles installations hydroélectriques.

2. Les pointes de charge et leur réduction. — Si l'inégalité du diagramme de charge journalier n'a pas pour conséquence un gaspillage d'énergie, il n'en est pas moins évident que les pointes de charge grèvent la distribution de l'énergie parce qu'elles exigent l'installation de machines et de lignes pour une puissance correspondant aux pointes. Ainsi, l'éclairage représente en Italie, 12 pour 100 de l'énergie livrée totale et 20 à 25 pour 100 de la puissance totale. Pour réduire cette pointe, on adoptait autrefois pour la force motrice un système à double tarif. Aujourd'hui les entreprises tendent à éviter toute limitation horaire dans l'usage de l'énergie. Un autre système consiste à réduire ou à supprimer les pointes de charge par la production sur place de la puissance nécessaire, tant au moyen de batteries d'accumulateurs, qu'en se servant d'usines de réserve. Mais ces solutions sont coûteuses et on trouve plus avantageux de construire les usines de production, ainsi que les lignes de transmission, suffisantes pour suppléer par elles-mêmes aux pointes. — R. L.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Champ électrique produit en présence du sol par un fil conducteur de courant alternatif

En 1926, le Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance (C. C. I.) a publié des directives concernant les mesures à prendre pour protéger les lignes téléphoniques contre les influences perturbatrices des installations à courant fort et à haute tension. Dans ce fascicule figure une annexe III intitulée « Examen des conditions dans lesquelles peut être admis le voisinage de lignes d'énergie à haute tension, à courants alternatifs polyphasés ou monophasés, symétriques et mises à la terre au point neutre, d'une part, et de lignes téléphoniques, d'autre part ». En supplément à cette annexe, se trouve une note sur l'inductance mutuelle entre deux conducteurs avec un résumé des différentes méthodes de calcul et des courbes d'après Breisig, Rüdenberg et Pollaczek. Il fut alors distribué également une note de M. J.-R. Carson, ingénieur à l'American Telegraph and Telephone Company. Cette note s'adresse à des techniciens avertis. M. Pomey, dans l'article qui suit, ne reproduit pas l'intégralité du travail de M. J.-R. Carson; mais il en donne la première partie de caractère théorique, en essayant de l'adapter aux habitudes d'esprit des ingénieurs français de manière à faciliter la lecture du mémoire original.

I. **Introduction.** — Un des problèmes les plus importants de l'électrotechnique consiste dans les phénomènes d'interférence entre les lignes à courant fort et les lignes à courant faible. Diverses formules ayant été proposées pour évaluer l'induction produite, la critique a montré que leur domaine de valabilité n'était pas indéfini et l'opinion se fit jour qu'on ne pourrait établir des formules pratiques approchées que quand l'on aurait à sa disposition des formules rigoureuses pour des cas simples idéaux.

A la fin de l'année 1926, M. John-R. Carson, ingénieur de l'American Telegraph and Telephone Company communiqua au Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance un mémoire des plus remarquables où le problème de l'interférence se trouvait mathématiquement résolu. Mais M. John-R. Carson, du fait qu'il s'adressait à des techniciens de toutes les administrations européennes qui comptent dans leurs rangs des savants de premier ordre, a exposé d'une façon assez succincte la partie théorique qui forme le préambule.

Cependant je n'ai vu encore nulle part le détail des calculs et j'avoue qu'il m'a fallu une certaine attention pour pouvoir les reconstituer à ma manière. Je voudrais donner ici le résultat de ce petit travail ; bien entendu, je ne revendique aucune part d'auteur; il s'agit ici du début du mémoire de M. John-R. Carson que je reprends en l'annotant, de manière à en rendre la lecture possible pour ceux qui abordent pour la première fois ces questions. En fait, c'est le résumé d'une conférence que j'ai faite aux élèves ingénieurs de l'Administration des Postes, Télégraphes et Téléphones.

Nous allègerons beaucoup les explications qui vont suivre en commençant par une note de caractère purement mathématique ayant pour objet la représentation par une intégrale de Fourier du champ magnétique dû à un courant rectiligne indéfini.

II. **Représentation au moyen d'une intégrale de Fourier d'un champ magnétique dû à un courant rectiligne indéfini.** — Soient $(O, x\,y\,z)$ un trièdre de sens est, nord, zénith (fig. 1) et C (o, h) la trace d'un courant rectiligne indéfini parallèle à Oz sur le plan des $x\,y$ et de sens Oz. Soient I l'intensité du courant, H l'intensité du champ magnétique en un point M (x, y) situé plus près de Ox que C $(y < h)$; posons $r = CM$, $\theta = \widetilde{MCO}$. J'aurai

$$H_x = 2I\frac{\cos\theta}{r}, \qquad H_y = 2I\frac{\sin\theta}{r}.$$

On peut réunir ces deux équations en une seule entre variables complexes, savoir

$$H_x + iH_y = 2I\frac{e^{i\theta}}{r} = \frac{2I}{h-y-ix} = 2I\int_0^\infty e^{\mu(ix-h+y)}\,d\mu,$$

d'où

$$H_x = 2I\int_0^\infty \cos\mu x\, e^{-\mu(h-y)}\,d\mu$$

$$H_y = 2I\int_0^\infty \sin\mu x\, e^{-\mu(h-y)}\,d\mu.$$

Nous avons donc H_x et H_y exprimés par des intégrales de Fourier.

Considérons maintenant un fil de retour C' situé parallèlement au courant I dans une position symétrique par rapport au plan des zx et parcouru par un

courant de sens contraire et de même intensité (fig. 2). Les composantes du champ magnétique dû à ce courant pourront de même être développées en intégrales de Fourier et l'on aura

$$H'_x = 2I \int_0^\infty \cos \mu x \, e^{-\mu(h+y)} \, d\mu$$

$$H'_y = 2I \int_0^\infty \sin \mu x \, e^{-\mu(h+y)} \, d\mu.$$

Le potentiel dû au courant C est égal à $2I\theta$, celui dû

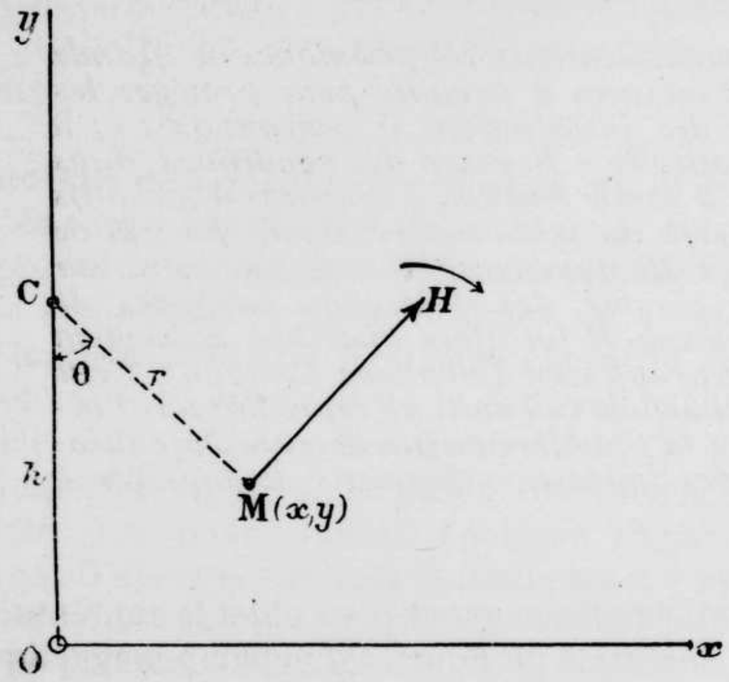


Fig. 1. — Détermination des composantes du champ magnétique dû à un courant rectiligne indéfini.

au courant C′ est égal à $-2I\theta'$; le potentiel dû à leur ensemble est

$$-2I(\theta' - \theta) = -2I\alpha,$$

en appelant α l'angle CMC′.

Cela posé, cherchons le flux à travers l'ordonnée Mm.

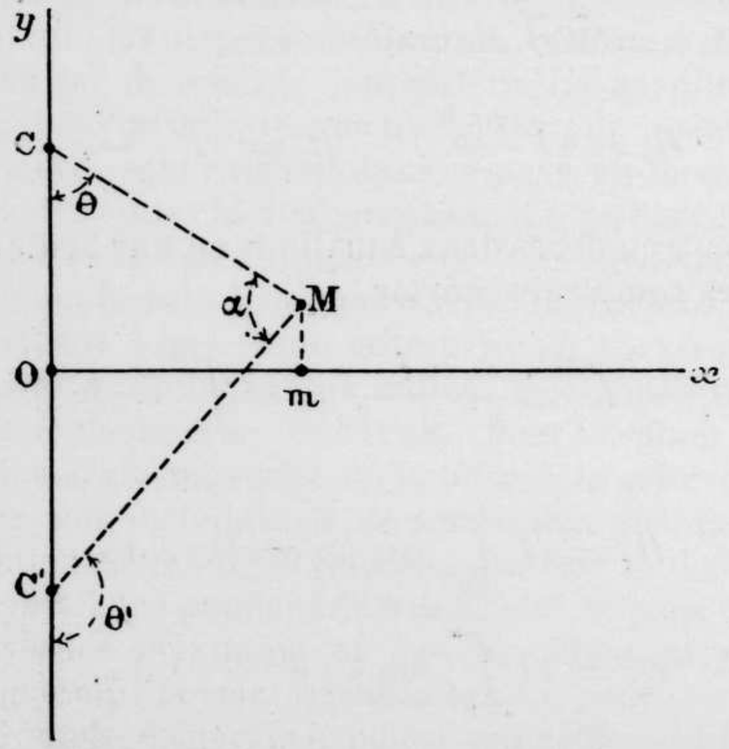


Fig. 2 — Détermination des composantes du champ magnétique dû à un circuit rectiligne avec fil de retour.

On voit immédiatement que ce flux est positif, c'est-à-dire dirigé suivant Ox.

Or, si $P + Qi$ est une fonction d'une variable imaginaire z, nous dirons que P et Q sont des fonctions conjuguées et si l'on considère deux éléments rectangulaires $d\sigma_1$, $d\sigma_2$ orientés l'un par rapport à l'autre comme Ox, Oy, mais de direction quelconque, on a

$$\frac{dP}{d\sigma_1} = \frac{dQ}{d\sigma_2};$$

d'où

$$\frac{dQ}{d\sigma_2} d\sigma_1 = dP,$$

ce qui prouve que le flux du vecteur $\frac{dQ}{d\sigma_2}$ à travers $d\sigma_1$ est la variation de la fonction conjuguée P.

Mais la fonction conjuguée de α est $\log_e \frac{r'}{r}$. Donc le flux de force magnétique émané de C et de C′ à travers mM est $2I \log_e \frac{r'}{r}$, car pour le point m, les rayons r et r' étant égaux, le logarithme est nul. r' et r sont les distances de M à C′ et à C. Nous aurons à appliquer plus loin cette formule.

III. **Problème de la propagation du courant alternatif dans le fil C.** — Revenons donc maintenant au problème de la propagation d'un courant alternatif dans le fil C parallèle à Oz, en admettant que le plan zx soit la surface du sol, séparant l'air (région des y positifs), milieu isolant, de la terre (région des y négatifs), milieu conducteur.

Le problème général dépendrait des conditions initiales et des conditions aux limites ; or, nous ignorons ce qui se passe à la station génératrice et à la station réceptrice ; nous devons donc nous borner à une solution particulière rentrant dans un type général.

Tout d'abord, nous admettons que nous avons affaire à un régime périodique permanent de pulsation ω. Ensuite, nous admettons que l'intensité du champ électrique dans les parties conductrices est partout parallèle à Oz, c'est-à-dire que nous sommes en présence d'un système cylindrique. Enfin, nous ferons l'hypothèse plus particulière que l'onde électrique se propage dans la direction du fil, en ne subissant qu'un faible amortissement, car une ligne de transmission d'énergie serait défectueuse, si elle donnait lieu à un affaiblissement important. En résumé, le champ électrique sera de la forme

$$E_z = e^{-\Gamma z + i\omega t} E_z(x,y).$$

Nous omettrons généralement le facteur commun exponentiel, mais en nous rappelant qu'une dérivation par rapport au temps équivaut à une multiplication par $i\omega$ et qu'une dérivation par rapport à z équivaut à une multiplication par $-\Gamma$.

1. Champ magnétique dû au courant dans le sol. — Occupons-nous tout d'abord de la répartition du cou-

rant dans le sol. On peut négliger le courant de déplacement en présence du courant de conduction et l'on a

$$[\nabla H] = 4\mu\lambda E, \qquad [\nabla E] = -\frac{\partial H}{\partial t}.$$

Les premiers membres sont les rotationnels de H et de E. La perméabilité magnétique est prise égale à l'unité.

Le coefficient λ est la conductibilité électrique. Ces équations sont les équations générales du champ électromagnétique. On en déduit

$$\nabla(\nabla E) - \Delta E = -4\pi\lambda\frac{\partial E}{\partial t}.$$

Mais le sol n'étant pas chargé à son intérieur, la divergence de E est nulle. Dans ΔE je puis négliger les dérivées par rapport à z qui introduit un facteur Γ^2 très petit, donc négligeable, et il reste

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} = \alpha i E_z \quad \text{avec} \quad \alpha = 4\lambda\omega.$$

Nous allons exprimer E_z en intégrale de Fourier. On part d'une solution élémentaire de la forme

$$e^{px+qy}.$$

La substitution dans l'équation donne

$$-\mu^2 + q^2 = \alpha i \quad \text{d'où} \quad q = \sqrt{\mu^2 + \alpha i}.$$

Or le champ s'amortit au fur et à mesure qu'on descend au-dessous de la surface de la terre; donc, comme en ces points y est négatif, il faut prendre pour q le signe + devant le radical. D'autre part, la même valeur de q correspond à deux valeurs de μ égales et de signes contraires. On prendra donc la solution élémentaire combinée

$$\cos\mu x\, e^{y\sqrt{\mu^2+\alpha i}}$$

qui est symétrique par rapport au plan des yz, ainsi qu'il doit être. On satisfera donc à ces conditions générales en posant

$$E_z = -\int_0^\infty F(\mu)\cos\mu x\, e^{y\sqrt{\mu^2+\alpha i}}\, d\mu \quad \text{avec} \quad y \leq 0.$$

Appliquons maintenant la loi de l'induction,

$$[\nabla E] = -\frac{\partial H}{\partial t};$$

en supposant que E_x et E_y sont négligeables, il vient

$$i\omega H_x = -\frac{\partial E_z}{\partial y}, \qquad i\omega H_y = -\frac{\partial E_z}{\partial x};$$

d'où

$$H_x = \frac{1}{i\omega}\int_0^\infty \sqrt{\mu^2 + i\alpha}\, F(\mu)\cos\mu x\, e^{y\sqrt{\mu^2+i\alpha}}\, d\mu,$$

$$H_y = \frac{1}{i\omega}\int_0^\infty \mu F(\mu)\sin\mu x\, e^{y\sqrt{\mu^2+i\alpha}}\, d\mu.$$

Telles sont les formules applicables aux courants dans le sol.

2. Champ magnétique dans l'air dû aux courants dans la ligne et dans le sol. — Dans l'air, c'est-à-dire dans le diélectrique, nous décomposerons le champ magnétique en deux parties, le champ direct dû au courant C et le champ indirect dû aux courants dans le sol.

Nous écrirons donc

$$H_x = H_{0,x} + H_{1,x} \qquad H_y = H_{0,y} + H_{1,y}.$$

Nous négligeons dans le diélectrique les courants de déplacement parallèle à Oz, mais le fil et la surface du sol forment les deux armatures d'un condensateur cylindrique et quand la tension varie en un point du fil, la charge électrique y est variable; il y a donc un courant de déplacement du fil au sol ou inversement et ce courant est parallèle au plan de section droite (xOy).

Dans notre note préliminaire, nous avons donné les expressions en intégrale de Fourier de H_{0x} et H_{0y}; on a

$$H_{0,x} = 2I\int_0^\infty \cos\mu x\, e^{-\mu(h-y)}\, d\mu$$

$$H_{0,y} = 2I\int_0^\infty \sin\mu x\, e^{-\mu(h+y)}\, d\mu.$$

Quant au champ magnétique indirect, lequel est dû aux courants du sol, on a à satisfaire dans l'air à deux conditions : sa divergence est nulle puisque l'induction magnétique se confond ici avec le champ : d'autre part, la composante parallèle à Oz du rotationnel est nulle, puisque la composante parallèle à Oz du courant de déplacement est supposée négligeable. Ces hypothèses reviennent à dire que le champ électrostatique entre le fil et le sol est sensiblement le même que si le courant avait en tous les points la même intensité. C'est une hypothèse analogue qui a été faite également pour le champ magnétique direct. Cette manière de voir est justifiée si la longueur d'onde est grande par rapport à h. On peut la caractériser en disant qu'on est dans un état quasi stationnaire, mais on ne commet pas d'erreur sensible même pour les courants de plusieurs centaines de périodes par seconde.

Des deux équations

$$\frac{\partial H_{1,x}}{\partial x} + \frac{\partial H_{1,y}}{\partial y} = 0, \qquad \frac{\partial H_{1,y}}{\partial x} - \frac{\partial H_{1,x}}{\partial y} = 0,$$

on tire

$$\frac{\partial^2 H_{1,x}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_{1,x}}{\partial y^2} = 0.$$

Et, par des considérations analogues à celles que nous avons développées plus haut, on posera

$$H_{1,x} = \int_0^\infty \Phi(\mu) \cos \mu x \, e^{-\mu y} \, d\mu ;$$

d'où, en reportant dans l'une des équations précédentes et intégrant,

$$H_{1,y} = - \int_0^\infty \Phi(\mu) \sin \mu x \, e^{-\mu y} \, d\mu .$$

Nous avons donc ainsi le champ magnétique dans l'air, comme résultante du champ direct et du champ secondaire.

3. Détermination des fonctions F et Φ et formule de la répartition du courant dans le sol. — Il s'agit de déterminer les deux fonctions F et Φ, l'une introduite quand on examinait le milieu conducteur, l'autre quand on examinait le diélectrique. Les deux fonctions seront déterminées par la condition que les composantes du champ magnétique suivant Ox et Oy aient les mêmes valeurs limites dans les deux milieux quand on se rapproche de la surface du sol ($y = 0$).

Cette condition se traduit par les deux équations

$$(H_x) = (H_{0,x}) + (H_{1,x}), \quad (H_y) = (H_{0,y}) + (H_{1,y}) \text{ pour } y = 0.$$

Cela posé, nous admettrons que la relation

$$\int_0^\infty f_1 \cos \mu x \, d\mu = 0 \quad \text{ou} \quad \int_0^\infty f_2 \sin \mu x \, d\mu = 0$$

ne peut avoir lieu quel que soit x, sans que f_1 ou f_2 ne soit nul. Il n'y a pas lieu ici de préciser ce problème d'analyse pure. Nous portons alors notre attention sur les coefficients de cos μx et de sin μx et nous obtenons

$$\frac{1}{i\omega} \sqrt{\mu^2 + i\alpha} \, F(\mu) = \Phi(\mu) + 2I e^{-h\mu}, \qquad (1)$$

$$\frac{1}{i\omega} \mu F(\mu) = - \Phi(\mu) + 2I e^{-h\mu}, \qquad (2)$$

d'où

$$F(\mu) = i\omega \frac{e^{-h\mu}}{\mu + \sqrt{\mu^2 + i\alpha}} 4I,$$

$$\Phi(\mu) = \frac{-\mu + \sqrt{\mu^2 + i\alpha}}{\mu + \sqrt{\mu^2 + i\alpha}} e^{-h\mu} 2I ;$$

ou encore, d'après la relation (2) elle-même

$$\Phi(\mu) = 2I e^{-h\mu} - \frac{e^{-h\mu}}{\mu + \sqrt{\mu^2 + i\alpha}} \mu 4I ;$$

d'où

$$E_z = - 4I \int_0^\infty \frac{i\omega e^{-h\mu}}{\mu + \sqrt{\mu^2 + i\alpha}} \cos \mu x \, e^{y\sqrt{\mu^2 + \alpha i}} \, d\mu, \quad y > 0.$$

Cette formule nous donne la répartition du courant dans le sol, car E_z est proportionnel à la densité du vecteur courant; x et y sont les coordonnées du point courant, h, la hauteur du fil au dessus du sol, I, l'intensité du courant qui le parcourt et $\alpha = 4\pi\lambda\omega$ dépend de la fréquence du courant et de la conductibilité du sol.

4. Composante du champ électrique parallèle a l'axe du fil. — Examinons maintenant la façon dont se comporte dans l'air la composante du champ parallèle à l'axe du fil.

La formule générale à appliquer est

$$E = - \Gamma \mathcal{V} - \frac{\partial \mathfrak{A}}{\partial t},$$

où $\mathcal{V}$ est le potentiel scalaire et $\mathfrak{A}$, le potentiel vecteur. On aura, en projection sur Oz,

$$E_z = - \frac{\partial \mathcal{V}}{\partial z} - \frac{\partial \mathfrak{A}}{\partial t},$$

ou

$$E_z = \Gamma \mathcal{V} - i\omega \mathfrak{A} ;$$

d'où

$$E_z(x, y) - E_z(x, 0) = \Gamma V - i\omega [\mathfrak{A}_z(x, y) - \mathfrak{A}_z(x, 0)].$$

Dans cette formule V est la différence de potentiel entre un point M et sa projection m à la surface du sol.

Quant à $\mathfrak{A}$, potentiel vecteur, nous savons que le champ magnétique (qui se confond ici avec l'induction magnétique) en est le rotationnel; de plus, le potentiel vecteur se réduit d'après nos hypothèses à sa composante parallèle au fil et aux courants du sol.

On a donc

$$H_x = \frac{\partial \mathfrak{A}_z}{\partial y} ;$$

d'où

$$\mathfrak{A}_z(x, y) - \mathfrak{A}_z(x, 0) = \int_0^\infty H_x \, dy.$$

On reconnaît ici le flux du vecteur $\vec{H}_x$ à travers une surface ayant pour hauteur y et pour largeur l'unité, et qui a été examiné au paragraphe II.

En résumé, nous pouvons écrire

$$E_z(x, y) = E_z(x, 0) - i\omega \int_0^y (H_{0,z} + H_{1,x}) \, dy - \frac{\partial V}{\partial z}$$

V étant la différence de potentiel due aux charges

électriques que l'on rencontre à la surface du sol et sur le fil et l'intégrale se décomposant en deux flux, celui du champ direct et celui du champ secondaire.

Occupons-nous de l'intégrale

$$\int_0^y H_{1,x}\,dy = \int_0^y \Phi(\mu)\cos\mu x\, e^{-\mu y}\,d\mu;$$

en y remplaçant $\Phi(\mu)$ par son expression en fonction de $F(\mu)$, savoir

$$\Phi(\mu) = 2I e^{-\mu h} - \frac{\mu}{i\omega} F(\mu).$$

La raison de cette décomposition apparaît si l'on considère que l'intégration par rapport à y fait venir au dénominateur un facteur μ,

$$\int_0^y e^{-\mu y}\,dy = \frac{e^{-\mu y} - 1}{-\mu}$$

et que, par suite, dans l'intégration par rapport à μ, on aurait un élément infini, à l'origine du champ d'intégration, pour $\mu = 0$; mais la présence du facteur μ devant $F(\mu)$ évitera cette difficulté, car on supprimera le facteur μ commun au numérateur et au dénominateur.

Quant au premier terme, il donne

$$\int_0^y \int_0^\infty 2I e^{-\mu(h+y)} \cos\mu x\,d\mu\,dy = \int_0^y H'_{0,x}\,dy,$$

c'est-à-dire le flux dû au courant de retour C', dont il était question au paragraphe II.

On aura donc

$$\int_0^y (H_{0,x} + H'_{0,x})\,dy = 2I \log_e \frac{r'}{r}.$$

Tel est le résultat relatif au premier terme de $\Phi(\mu)$.

Examinons ce qui provient du second terme. On a, en intervertissant l'ordre des intégrations et effectuant celle en y

$$-i\omega \int_0^y \int_0^\infty \left(-\frac{\mu}{i\omega} F(\mu)\right) \cos\mu x\, e^{-\mu y}\,d\mu\,dy$$

$$= \int_0^\infty F(\mu)\cos\mu x\, e^{-\mu y}\,d\mu - \int_0^\infty F(\mu)\cos\mu x\,d\mu.$$

Ce dernier terme n'est autre que $E_z(x, 0)$ et il reste, en remplaçant $F(\mu)$ par sa valeur,

$$E_z(x, y) = -4i\omega I \int_0^\infty \frac{e^{-(h+y)\mu}}{\mu + \sqrt{\mu^2 + i\alpha}} \cos\mu x\,d\mu$$

$$- i\omega 2I \log_e \frac{r'}{r} + \Gamma V.$$

5. Valeur du champ électrique en un point de la surface du fil. — Nous pouvons appliquer cette formule pour avoir la valeur de E_z en un point situé à la surface du fil. Si ce fil est supposé de rayon a, il y aura lieu de remplacer r par a, r' sera toujours la distance au courant fictif (C'); d'autre part, y devra être remplacé par h.

Remarquons alors que, en ce point, on pourra poser

$$E_z = ZI$$

pour définir l'impédance Z du fil lui-même.

D'autre part, si l'on considère une tranche dz perpendiculaire à l'axe du fil, la différence

$$-\frac{\partial I}{\partial z} = \Gamma I$$

entre le courant qui entre et le courant qui sort (rapportée à l'unité de longueur) sert à subvenir au courant de perte latérale GV et à l'accroissement de la charge $\frac{\partial Q}{\partial t} = \omega i C V$, si l'on appelle C la capacité du fil par rapport à la terre; d'où

$$\Gamma I = GV + i\omega CV$$

et

$$\Gamma V = \frac{\Gamma^2 I}{G + i\omega C}.$$

Reportons cette valeur du potentiel dans l'expression de E_z à la surface du fil et supprimons le facteur commun I; il vient

$$\Gamma^2 = (G + i\omega C)\left(Z + 2i\omega \log\frac{r'}{a}\right.$$

$$\left. + 4\omega \int_0^\infty (\sqrt{\mu^2 + i} - i)\, e^{-2h'\mu}\,d\mu\right)$$

(en posant $x' = x\sqrt{\alpha}$; $y' = y\sqrt{\alpha}$; $h' = h\sqrt{\alpha}$; $\mu = \sqrt{\alpha}\,\mu'$, puis remettant μ à la place de μ').

La parenthèse peut se mettre sous la forme $(R + Xi)$, où R et X seront la résistance et la réactance équivalentes; la formule précédente donne la constante de propagation.

Nous nous arrêterons ici, renvoyant pour les conséquences de ces formules au mémoire original. Il n'y a véritablement rien dans cet exposé dont nous puissions revendiquer la paternité; nous n'avons fait que suivre le texte de M. John-R. Carson et pourtant, nous croyons avoir fait œuvre utile en facilitant aux techniciens qui ne sont pas très versés dans les mathématiques supérieures la lecture un peu difficile du début du mémoire original.

J.-B. Pomey.

Quelques aspects de la théorie quantique des spectres lumineux

(*Suite et fin*) (*)

DEUXIÈME PARTIE : Théorie des spectres de bandes

XI. **Généralités.** — Nous avons vu dans la première partie que les spectres de lignes sont émis par les atomes libres ; ce sont essentiellement des spectres atomiques : d'où leur simplicité relative.

Il est aujourd'hui bien connu, au contraire, que l'origine des spectres de bandes d'émission ou d'absorption est la molécule. Il en résulte une extrême complication de ces spectres, et les lois qui régissent leur structure ne sont apparues que lentement.

C'est à Deslandres (1885) que l'on doit la découverte des premières lois simples, dont les recherches ultérieures ont montré la généralité. Cependant, ces lois ont un caractère exclusivement descriptif. Pendant longtemps, leur sens est resté obscur. Ce n'est que récemment que Lenz et Heurlinger (1918), s'inspirant de la méthode générale d'étude des spectres de lignes, édifiée avec tant de succès par Bohr, ont réussi à jeter les bases de la première théorie satisfaisante des spectres de bandes.

Cette théorie s'est développée depuis, et étendue, grâce aux travaux d'un grand nombre de chercheurs, et nous allons examiner les grandes lignes de la forme qui lui est actuellement donnée.

Dans les spectres atomiques, les fréquences des radiations émises ou absorbées sont déterminées simplement par le changement d'énergie qui se produit lorsque l'atome passe d'un état quantique à un autre lors d'une transition d'électron entre deux orbites stationnaires. Dans la molécule, les phénomènes sont beaucoup plus compliqués. Sommerfeld (1), dans son excellent exposé sur les spectres de bandes, a indiqué que, dans le cas le plus simple de la molécule diatomique, chacune des lignes d un tel spectre résulte de la production simultanée dans la molécule de trois types distincts de sauts quantiques. Le premier est de nature électronique, comme dans l'atome; le second correspond à un mouvement vibratoire des noyaux positifs des deux atomes formant la molécule; le troisième est relatif à un mouvement de rotation de la molécule autour d'une droite perpendiculaire à son axe de symétrie.

A tout état stationnaire de la molécule s'attachent donc trois nombres quantiques — électronique, vibrationnel et rotationnel — dont chacun peut avoir, à l'état initial, l'une ou l'autre d'un assez grand nombre de valeurs différentes, pour subir un changement égal à un entier positif ou négatif lors du passage à l'état final. De la grande variété des changements possibles résulte l'énorme nombre de lignes, qui est la caractéristique des spectres de bandes.

La fréquence de chaque ligne de bande est toujours donnée par la relation générale

$$h\nu = E' - E'',$$

où h est la constante universelle de Planck, ν, la fréquence de la radiation émise ou absorbée, E'', l'énergie de la molécule à l'état initial, le plus excité, de la molécule, E''', son énergie à l'état final, le moins excité. L'énergie E'' de la molécule est une fonction d'une suite de nombres quantiques électroniques $(e_1, e_2, e_3, \ldots)$, d'un nombre quantique n associé à la vibration des noyaux, et d'un nombre quantique m associé à la rotation de la molécule. Il n'est évidemment pas possible de diviser l'énergie totale de la molécule en trois parties, ne dépendant que des m, n, et e, respectivement; il est cependant commode de la considérer arbitrairement comme la somme de trois termes, l'énergie électronique E_e, l'énergie vibrationnelle E_n et l'énergie rotationnelle E_m, c'est-à-dire d'écrire

$$E = E(e_1, e_2, e_3, \ldots, n, m) = E_e + E_n + E_m \qquad (1)$$

$$E_e = E(e_1, e_2, e_3, \ldots, 0, 0) \qquad (2a)$$

$$E_n = E(e_1, e_1, e_3, \ldots, n, 0) - E_e \qquad (2b)$$

$$E_m = E(e_1, e_2, e_3, \ldots, n, m) - E_n - E_e. \qquad (2c)$$

La fréquence de toute ligne de bande est dès lors donnée par

$$h\nu = E' - E''' = (E'_e + E'_n + E'_m) - (E''_e + E'''_n + E''_m), \qquad (3)$$

ou encore

$$h\nu = (E'_e - E''_e) + (E'_n - E'''_n) + (E'_m - E''_m) \qquad (4)$$

et enfin

$$\nu = \nu_e + \nu_n + \nu_m. \qquad (5)$$

Il importe de noter que, d'une façon générale,

$$\nu_e > \nu_n > \nu_m$$

et, d'autre part, que ν_n et ν_m peuvent l'un et l'autre être positifs ou négatifs, c'est-à-dire contribuer à rendre ν supérieur ou inférieur à ν_e.

(*) *Revue générale de l'Électricité*, 13 décembre 1930, t. XXVIII, p. 933-947.

(1) SOMMERFELD. *Atombau und Spektrallinien*, chapitre IX et appendice 15 de la quatrième édition (1924).

Sur cette base, examinons le spectre dans toute son étendue.

XII. **Région de l'infrarouge lointain.** — Dans l'infrarouge lointain entre les longueurs d'onde de 500 et 75 μ m, domaine des faibles fréquences, ne se manifestent ni transitions électroniques, ni transitions de vibrations, qui correspondent à des fréquences bien plus élevées. L'on n'y observe donc que des fréquences de rotation ν_m, et le spectre moléculaire affecte dans cette région une certaine simplicité: il se réduit, pour chaque sorte de molécules, à une série de lignes ordonnées suivant une loi simple.

L'étude théorique des spectres de rotation, due à Sommerfeld, peut se résumer de la façon suivante:

Considérons une molécule de gaz chlorhydrique HCl, qui est représentée par le schéma de la figure 6. Le

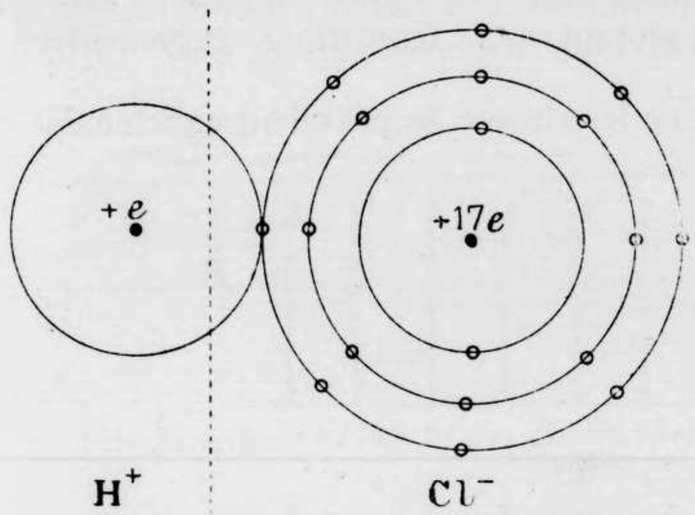


Fig. 6. — Schéma de la molécule de gaz chlorhydrique.

trait vertical de séparation divise la molécule en deux parties, dont la somme algébrique des charges est respectivement positive à gauche, négative à droite. La partie gauche porte la charge $+e$, représentée par le noyau de l'atome d'hydrogène; la partie droite porte la charge résultante $-e$, dont le centre de gravité est situé au centre du noyau de l'atome de chlore. La molécule HCl se réduit donc au point de vue électrique à un dipôle, de moment électrique permanent; c'est une « molécule polaire ». Il existe de nombreuses molécules polaires, et c'est à elles que s'applique la théorie suivante.

Soit donc un dipôle, comme HCl, tournant autour d'une droite perpendiculaire à son axe électrique. L'émission (ou l'absorption) d'une radiation de fréquence ν est liée à une diminution (ou à un accroissement) de son énergie cinétique de rotation $\frac{1}{2} I\omega^2$, d'un quantum d'énergie $h\nu$, I étant le moment d'inertie de la molécule par rapport à son axe de rotation, ω, sa vitesse angulaire. On a donc, si, au cours de la transition considérée, la vitesse angulaire passe de ω' (état initial) à ω (état final) et si l'on suppose, pour fixer les idées, $\omega' > \omega$ (émission),

$$h\nu = \frac{1}{2} I\omega'^2 - \frac{1}{2} I\omega^2. \qquad (6)$$

D'après la théorie des quanta, le moment cinétique (1) (ou quantité de rotation) $I\omega$ est un multiple entier de $\frac{h}{2\pi}$. Si donc l'émission correspond à la diminution du nombre des quanta de rotation de m' à m, on aura

$$I\omega' = \frac{m'h}{2\pi}, \qquad I\omega = \frac{mh}{2\pi},$$

$$\text{et} \quad h\nu = \frac{1}{2I}\left[\left(\frac{m'h}{2\pi}\right)^2 - \left(\frac{mh}{2\pi}\right)^2\right] = \frac{h^2}{8\pi^2 I}(m'^2 - m^2). \qquad (7)$$

D'autre part, d'après le principe de sélection, m varie au plus d'une unité à la fois. Donc la fréquence aura pour valeur (en posant $m' = m + 1$)

$$\nu = \frac{h}{8\pi^2 I}(2m + 1) \qquad (8)$$

et le spectre de rotation complet sera obtenu en donnant à m les valeurs successives.

$$0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \ldots\ m,$$

La différence de fréquence $\Delta\nu$ entre deux composantes successives de ce spectre aura la valeur constante

$$\Delta\nu = \frac{h}{8\pi^2 I}[2(m+1) + 1 - (2m+1)]$$

ou

$$\Delta\nu = \frac{h}{4\pi^2 I}. \qquad (9)$$

Autrement dit, un tel spectre de pure rotation sera formé de lignes équidistantes, dans l'échelle des fréquences. Ces spectres ne sont observables que dans l'infrarouge lointain, en raison de la valeur du moment d'inertie I, qui figure en dénominateur dans l'expression de ν et qui est de l'ordre de 10^{-40} g — cm^2.

Par exemple, avec HCl, on observe dans l'infrarouge lointain ces bandes équidistantes (2)

m =	4	5	6	7	8	9	10
ν =	104,1	124,3	145,03	165,77	185,77	206,2	226.5
λ =	96,06	80,45	68,95	60,31	53,82	48,50	44,15 μ m,

ν étant exprimé en nombre d'ondes par centimètre.

XIII. **Région du proche infrarouge.** — Dans le proche infrarouge, c'est-à-dire pour des longueurs d'onde comprises par exemple entre 75 μ m et 1 μ m, les ν_e restent nuls, mais le terme ν_n intervient dans l'expression de la fréquence: chaque transition vibrationnelle se manifeste par une bande à fine structure, c'est-à-dire formée de lignes réparties avec une certaine régularité

(1) Ou moment de la quantité de mouvement par rapport à l'axe de rotation, soit $\mu v\rho = \mu\rho^2\omega = I\omega$; cette grandeur est homogène à une action, produit de l'énergie par le temps (μ est la masse du point tournant et ρ, sa distance à l'axe).

(2) M. Czerny: *Zeitschrift für Physik*, 1925, t. XXXIV, p. 227 et 1927, t. XLIV, p. 235.

et qui en sont les composantes. Toute composante correspond à la contribution apportée à la fréquence observée par une transition de rotation.

Dans ce cas, le dipôle est donc doué d'un certain supplément d'énergie, correspondant à ce fait que, tout en tournant d'un mouvement d'ensemble autour d'une droite perpendiculaire à l'axe du dipôle, il se produit un mouvement vibratoire des noyaux atomiques suivant l'axe du dipôle. Ce résultat correspond à une excitation plus violente de la molécule (1). Lors de chaque transition de rotation, à laquelle correspond le changement $\pm \frac{h}{2\pi}$ du moment cinétique $I\omega$, l'énergie vibrationnelle subit un saut quantique que l'on peut mettre sous la forme $h\nu_n$; cette quantité est toujours très supérieure à $\frac{1}{2} I\omega^2$ et à ses variations, de sorte qu'au cours d'une telle transition mixte de vibration-rotation, l'énergie rotationnelle peut aussi bien croître que diminuer, qu'il s'agisse d'émission ou d'absorption. Dans ce cas, la fréquence ν correspond à la totalité de l'énergie perdue (émission) ou gagnée (absorption), et l'on a

$$\nu = \nu_n + \frac{h}{8\pi^2 I}(2m+1) = \nu_n + B + 2Bm. \quad (10)$$

ν_n et B étant des constantes pour une bande donnée et m ayant les valeurs successives $m = 0, 1, 2, 3\ldots$ pour la transition $(m+1) \rightarrow m$ (émission) (1). Mais, nous venons de remarquer que la transition $(m-1) \rightarrow m$ est également possible, même dans le cas de l'émission. On a donc $m'^2 - m^2 = (m-1)^2 - m^2 =, -2m + 1$, ce qui donne $\nu = \nu_n + B - 2Bm$ avec $m = 0, 1, 2, 3\ldots$

L'on admet, pour des raisons d'ordre expérimental, et dont la mécanique ondulatoire a pleinement rendu compte, que la ligne correspondant à $m = 0$ ne peut être ni émise, ni absorbée (ligne de fréquence $\nu_n + B$). Ainsi, deux suites de lignes de bandes sont à prévoir, correspondant aux transitions représentées sur la figure 7.

Si donc les choses se passaient exactement de cette

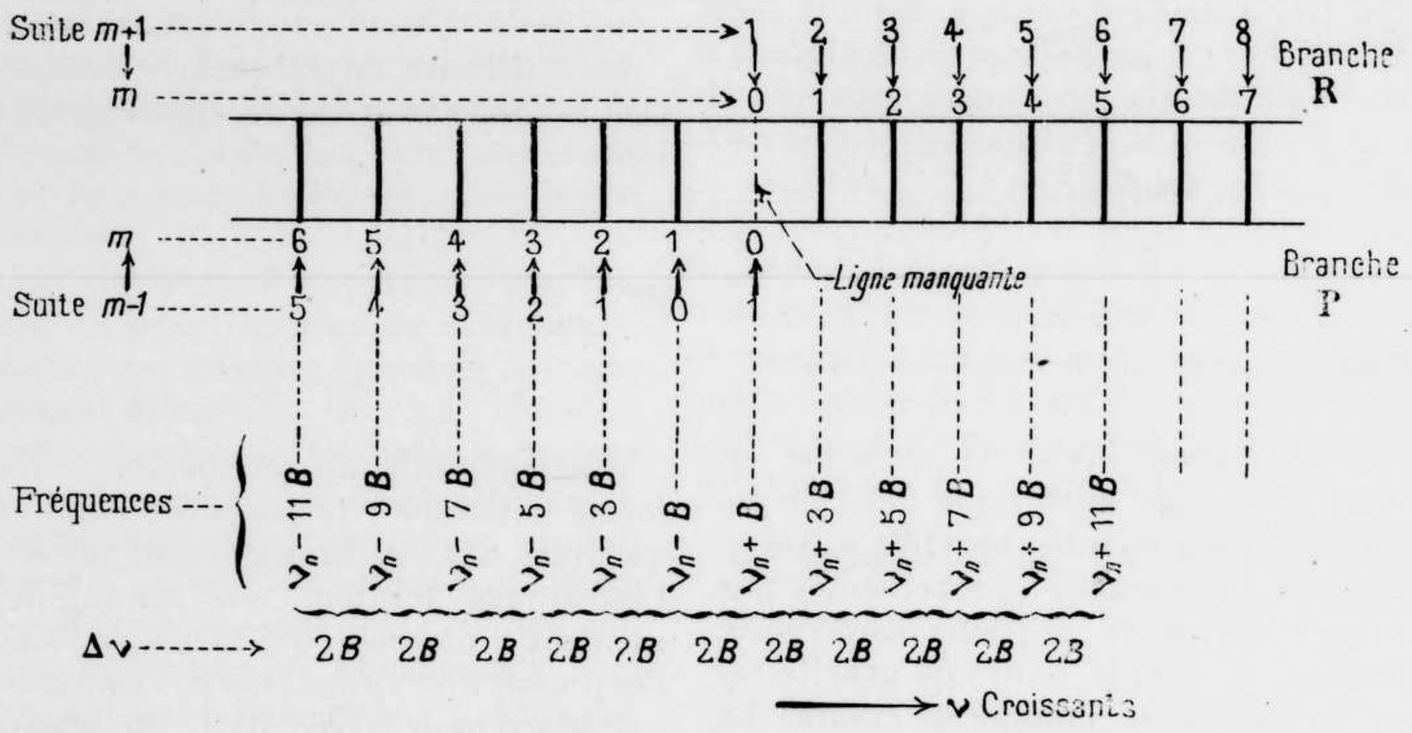


Fig. 7. — Disposition théorique d'un couple de bandes.

façon, l'on aurait un couple de bandes à lignes équidistantes, dans l'échelle des fréquences, avec un intervalle égal au double de celui qui sépare deux lignes successives, comme le montre le schéma de la figure 7. En fait, ce n'est pas exactement ce que l'on observe, et une correction s'est montrée nécessaire, car on s'est avisé qu'un changement de l'énergie vibrationnelle de la molécule devait entraîner un changement de son moment d'inertie (moyen), de sorte que l'équation précédente doit s'écrire plus exactement :

$$h\nu = h\nu_n + \frac{h^2(m+1)^2}{8\pi^2 I'} - \frac{h^2 m^2}{8\pi^2 I}, \quad (11)$$

ou $$\nu = \nu_n + \frac{h}{8\pi^2 I'} + \frac{2h}{8\pi^2 I'} m + \frac{h}{8\pi^2}\left(\frac{1}{I'} - \frac{1}{I}\right)m^2 \quad (12)$$

ou enfin

$$\nu = \nu_n + C_0 + 2C_0 m + Cm^2 \equiv \mathrm{R}(m) \quad (13)$$

équation valable pour toutes les transitions $(m+1) \rightarrow m$, à l'exclusion de celle de $1 \rightarrow 0$, c'est-à-dire

$2 \rightarrow 1$, $3 \rightarrow 2$, $4 \rightarrow 3$, $5 \rightarrow 4$, ... $(m+1) \rightarrow m$.

Ces lignes forment ce que l'on appelle, pour des raisons qui apparaîtront plus loin, une première branche de la bande, que l'on désigne par R (m).

(1) On consultera utilement, pour plus de détails sur la fine structure des bandes, l'excellent exposé de R. Fortrat, *Le Journal de Physique et le Radium*, février 1924, t. V (6e série), p. 33-49.

(1) La flèche indiquée ici signifie « vers ». Nous continuerons à utiliser cette même notation au cours du présent article.

D'autre part, les transitions $(m-1) \rightarrow m$ conduisent de même à l'équation

$$\nu = \nu_n + C_0 - 2C_0 m + Cm^2 \equiv P(m) \qquad (14)$$

qui constitue la branche P (m).

L'existence dans ces expressions d'un terme en Cm^2 n'a d'autre effet que de modifier l'espacement des lignes composantes, dont l'intervalle va aller en diminuant progressivement, tout en laissant subsister l'intervalle double correspondant à la ligne manquante.

Un grand nombre de bandes du proche infrarouge affectent cette configuration caractéristique, qui comporte une suite de tête [R (m)] ou tout simplement tête du couple de bandes, et une suite de queue ou queue P (m) du couple. C'est, par exemple, ce que l'on observe dans cette région, dans le spectre d'absorption du gaz chlorhydrique (fig. 8).

On en trouvera d'autres exemples dans les planches I, IV et VI. Nous avons considéré l'effet des transitions

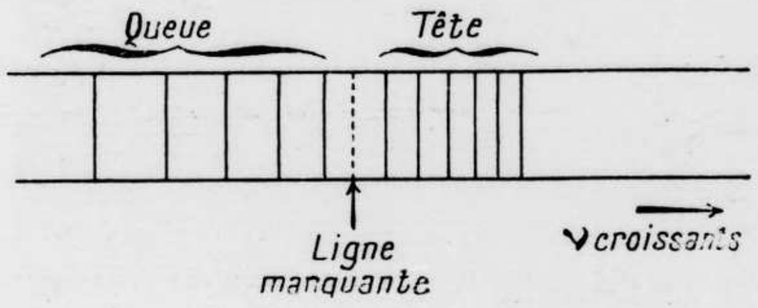


Fig. 8. — Une bande du gaz chlorhydrique.

rotationnelles $(m-1) \rightarrow m$ et $(m+1) \rightarrow m$. La condition intermédiaire de l'égalité des nombres quantiques rotationnels initial et final, correspondant à la transition $m \rightarrow m$, s'est aussi montrée expérimentalement possible, dans un grand nombre de cas. On a alors

$$h\nu = h\nu_n + \frac{h^2}{8\pi^2}\left(\frac{1}{I} - \frac{1}{I}\right)m^2$$

ou

$$\nu = \nu_n + Cm^2 \equiv Q(m) \qquad (15)$$

avec $m \rightarrow m$, c'est-à-dire

$$m = 1, \quad m = 2, \quad m = 3, \quad \ldots\ldots$$
$$1 \rightarrow 1, \quad 2 \rightarrow 2 \quad 3 \rightarrow 3, \quad \ldots\ldots$$

Ces composantes forment une troisième suite, « suite moyenne » ou « noyau » de la bande, et dans ce cas la bande comporte donc trois suites : une tête, une queue et un noyau, dont les composantes s'enchevêtrent dans un spectrogramme d'une façon qui apparaît à première vue inextricable.

Enfin, un grand nombre de faits d'expérience se sont beaucoup mieux adaptés au cadre précédent en admettant que tout se passe comme si les nombres quantiques de rotation étaient formés par la suite, non pas des nombres entiers, 1, 2, 3,.., mais de chacun de ces nombres accrus d'une demi-unité, soit $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$,...

Cette introduction de « demi-quanta », imposée en quelque manière par l'expérience, fut considérée comme un fait étrange, et même contradictoire, puisque les quanta ne sont pas divisibles, par définition. Cependant, la nouvelle théorie quantique, basée sur les postulats de la mécanique ondulatoire, rend parfaitement compte de ces demi quanta, dont l'emploi ne souffre dès lors plus de difficulté.

On est ainsi conduit aux formules suivantes, qui correspondent à la nouvelle notation de Curtis. Soit la transition

$$m + \frac{1}{2} \rightarrow m - \frac{1}{2}$$

et reportons-nous à la formule (11); elle prend la forme

$$h\nu = h\nu_n + \frac{h^2\left(m+\frac{1}{2}\right)^2}{8\pi^2 I'} - \frac{h^2\left(m-\frac{1}{2}\right)^2}{8\pi^2 I} \qquad (16)$$

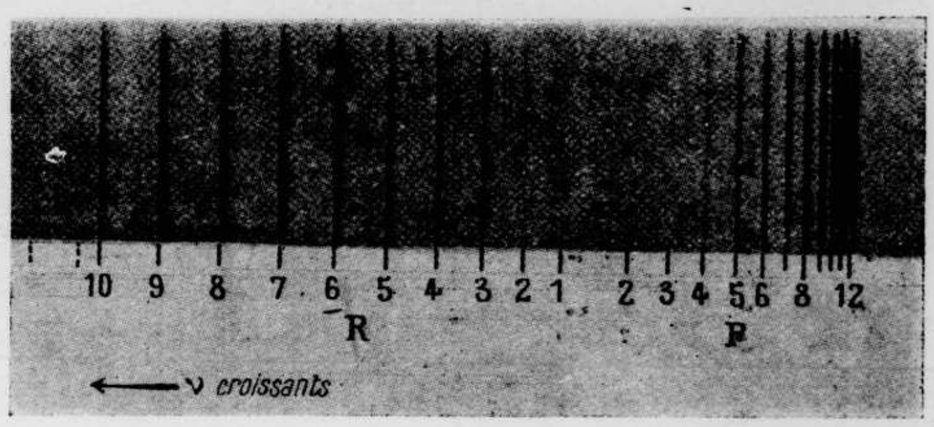


Planche I. — Structure d'une bande de l'hydrure de calcium CaH(1). Les lignes en trait pontué indiquent les positions des deux lignes $\lambda = 3509,79$ Å et $3511,11$ Å de l'argon.

ou, en effectuant, et divisant les deux membres par h

$$\nu = \nu_n + \frac{1}{4}\left[\frac{h}{8\pi^2}\left(\frac{1}{I'} - \frac{1}{I}\right)\right] + \frac{h}{8\pi^2}\left(\frac{1}{I'} + \frac{1}{I}\right)m + \frac{h}{8\pi^2}\left(\frac{1}{I'} - \frac{1}{I}\right)m^2; \qquad (17)$$

$\frac{h}{8\pi^2}\left(\frac{1}{I'} - \frac{1}{I}\right)$ est la même constante C que dans les formules précédentes. Posons

$$\frac{h}{8\pi^2}\left(\frac{1}{I'} + \frac{1}{I}\right) = B'.$$

On obtient

$$\nu = \nu_n + \frac{C}{4} + B'm + Cm^2. \qquad (18)$$

(1) R.-S. Mulliken. *The physical Review*, avril 1925, t. XXV (2e série), p. 509-522. Nous avons laissé subsister le mode de numérotage des composantes des branches R et P adopté par l'auteur; il est à noter que, en ce qui concerne la branche P, il n'est pas conforme aux indications du présent article.

En conduisant le calcul exactement de la même façon pour les deux autres modes de transitions possibles, l'on obtient aisément les équations valables pour les deux autres branches.

En définitive, les équations des trois branches prennent la forme

$$R^*(m) \equiv \nu_n + \frac{C}{4} + B'm + Cm^2 \quad \left(m + \frac{1}{2}\right) \rightarrow \left(m - \frac{1}{2}\right) \qquad (19)$$

$$P^*(m) \equiv \nu_n + \frac{C}{4} - B'm + Cm^2 \quad \left(m - \frac{1}{2}\right) \rightarrow \left(m + \frac{1}{2}\right) \qquad (20)$$

$$Q^*(m) \equiv \nu_n + \frac{C}{4} + Cm + Cm^2 \quad \left(m + \frac{1}{2}\right) \rightarrow \left(m + \frac{1}{2}\right) \qquad (21)$$

En principe, une bande sera en général formée des trois branches P*, Q* et R*. On représente ces trois suites de composantes par une méthode graphique évidente, et qui consiste à rapporter à un système de deux axes rectangulaires les fréquences ou nombres d'ondes par centimètre des composantes successives (en abscisses), et les valeurs correspondantes de m (en ordonnées). Les points ainsi obtenus se rangent suivant trois arcs de paraboles concourants, qui constituent les trois branches P*, Q* et R* de la bande.

Considérons la branche Q*. Si la constante C est positive, c'est-à-dire si l'on a

$$\frac{1}{I'} - \frac{1}{I} > 0$$

donc $I' < I$ (moment d'inertie croissant au cours de la transition), la branche Q* est dirigée dans le sens des fréquences croissantes, c'est à-dire vers l'ultraviolet. La branche R*, dont l'équation ne comporte que des constantes positives, sera dirigée dans le même sens, mais avec une croissance plus rapide de la fréquence : elle sera donc au-dessous de la branche Q*. Quant à la branche P*, son équation comporte un terme négatif $-B'm$, dont l'effet est que ν passe par un minimum après lequel la courbe reprend la direction générale des deux autres branches.

Si, au contraire, on a $I' > I$, donc la constante C négative, la disposition est exactement inverse. Ces deux dispotions sont représentées sur les figures 9 et 10.

On voit sur ces graphiques que ces trois courbes s'arrêtent aux points d'ordonnée $m = 1$; nous avions vu déjà, en effet, que la ligne $m = 0$, donc de fréquence

$$\nu = \nu_n + \frac{C}{4},$$

commune aux trois branches, est manquante. On l'appelle ligne nulle, ou ligne zéro. Fortrat (1) prend cette ligne manquante comme origine de la bande.

On se figure assez bien l'aspect des bandes, en projetant les points successifs de ces courbes sur l'axe des abscisses : les points obtenus donnent les positions des lignes composantes par rapport à l'échelle des fréquences.

Dans la première disposition, les lignes composantes s'espacent vers les fréquences croissantes ; comme, d'autre part, les intensités des composantes vont d'ordinaire en diminuant lorsque m croît, l'aspect général de la bande est celui d'un dégradé progressif vers les courtes longueurs d'onde : on dit que la bande est dégradée vers le violet. On voit aussi que les lignes de

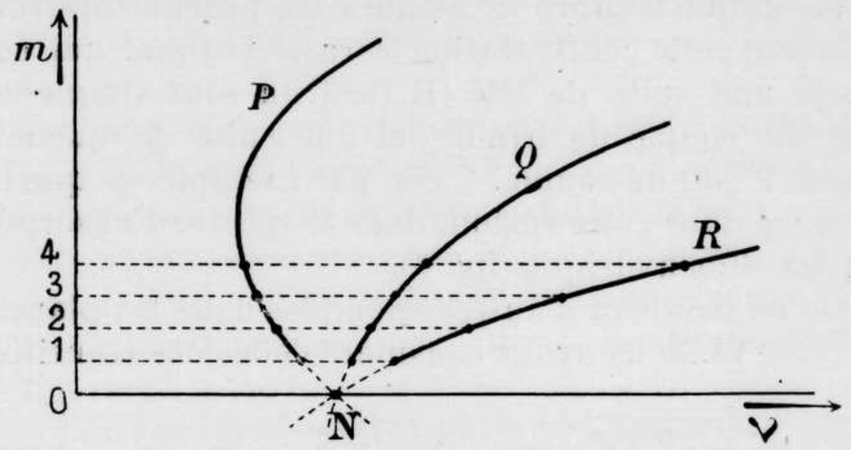


Fig. 9. — Bande à trois branches. Première disposition.

$$\frac{1}{I'} - \frac{1}{I} > 0$$

la branche P situées entre O et N sont très serrées, et comme elles sont d'autre part très intenses, on a là la portion la plus intense de la bande, qui s'arrête brusquement au niveau du sommet de la parabole : ce qui constitue la tête de la bande. Au niveau de la ligne zéro, la branche P fournit déjà des composantes espacées et affaiblies, ce qui permet de discerner aisément le début des deux autres branches.

On observe d'abord la première composante de la

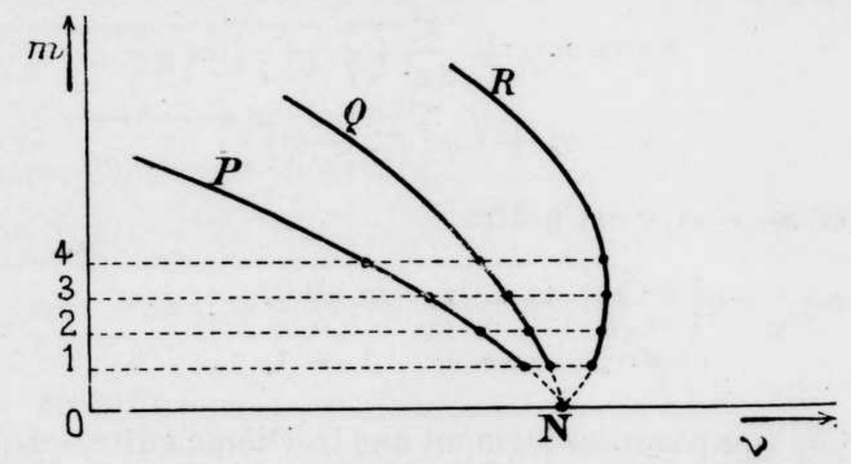


Fig. 10. — Bande à trois branches. Deuxième disposition.

$$\frac{1}{I'} - \frac{1}{I} < 0$$

branche Q, qui constitue une arête nette, de fréquence

$$\nu = \nu_n + \frac{C}{4} + 2C. \qquad (22)$$

A partir de cette arête, la branche Q, qui constitue le noyau de la bande, se dégrade vers le violet.

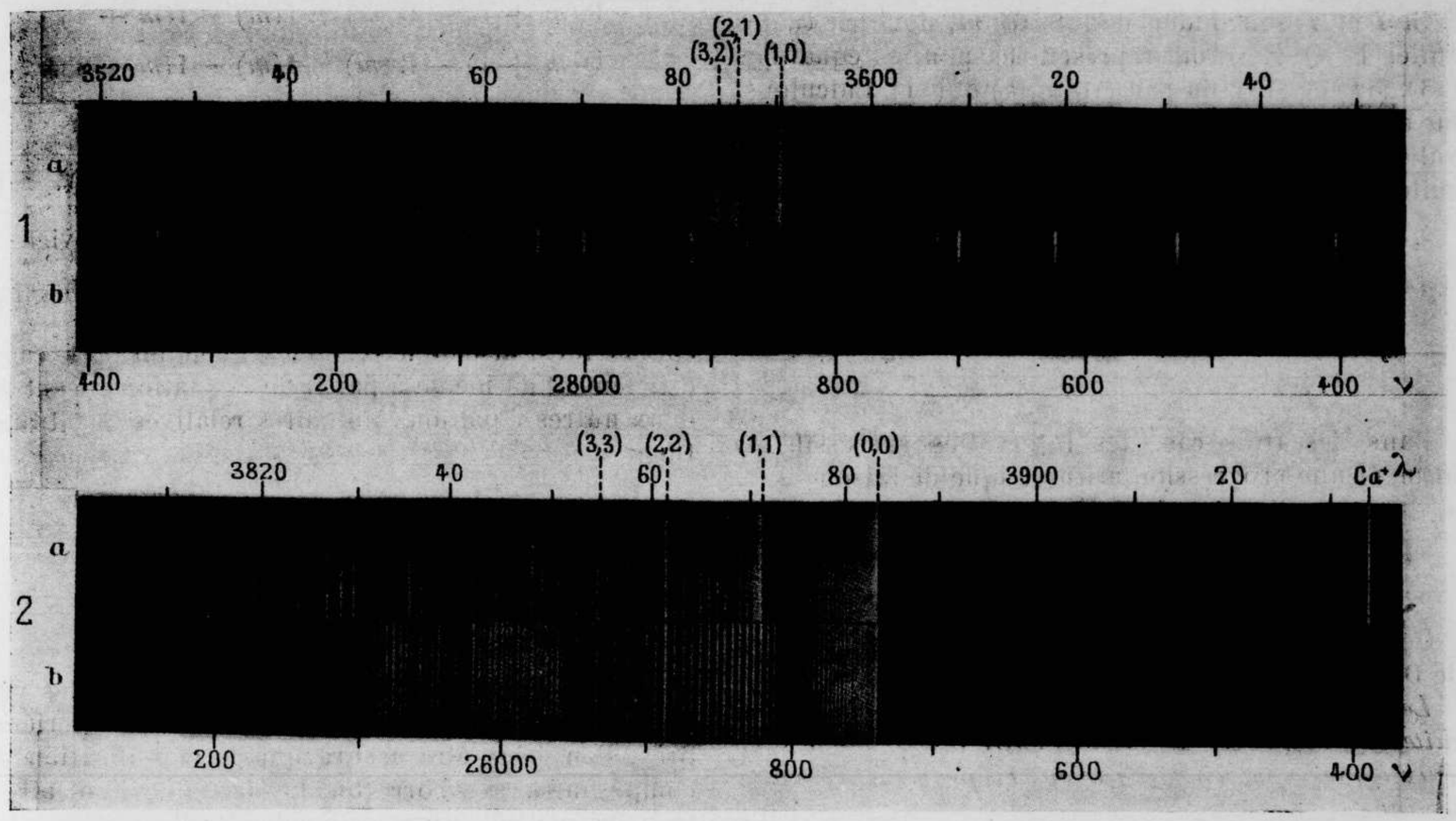
(1) R. Fortrat. *Loc. cit.*

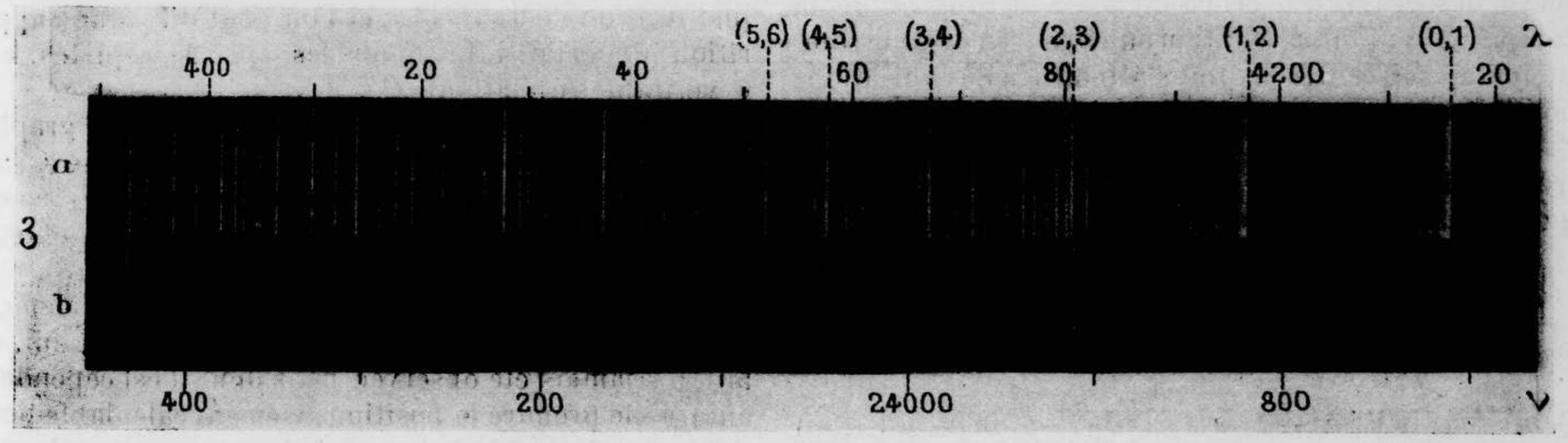
Enfin, la branche R, queue de la bande, débute par la composante $m = 1$, de fréquence

$$\nu = \nu_n + \frac{C}{4} + B' + C, \qquad (23)$$

qui constitue une nouvelle arête voisine de la précédente, à partir de laquelle la branche R se dégrade vers le violet.

Lorsque la dispersion est trop faible pour permettre de séparer les composantes, la bande sera repérée le





Planches II et III. — Ces planches décrivent la portion de courte longueur d'onde du système de bandes émis par la molécule CN : a, dans l'arc au charbon dans l'air ; b, par l'action de l'azote actif sur le cyanogène. 1, Groupe $\lambda = 3590$ Å ; $n' - n' = 1$. On y remarque notamment les têtes (1,1), (2,1) et (3,2) et un grand nombre de lignes de fine structure. Quelques lignes du spectre du fer apparaissent, comme impureté en a et comme ligne de comparaison en b ; 2, Groupe $\lambda = 3883$ Å $n' - n'' = 0$ avec les têtes (0,0), (1,1), (2,2) et (3,3) et les fines structures des bandes correspondantes ; 3, Groupe $\lambda = 4216$ Å $n' - n'' = 1$, avec les têtes (0,1), (1,2), (2,3), (3,4), (4,5) et (5,6) : la fine structure du début de la bande (0,1) apparaît sur ce spectrogramme avec une remarquable netteté (1),

plus aisément par l'arête qui correspond au sommet de la branche P. C'est cette arête que l'on pointe souvent sur les spectrogrammes, pour caractériser la position de la bande.

Naturellement, il peut arriver que, par suite d'anomalies dans la loi de variation des intensités, les lignes voisines du sommet de la branche P ne soient pas observables ; dans ce cas, la tête ne présentera pas d'arête apparente, et semblera dégradée dans les deux sens.

On vérifiera ces diverses particularités en examinant les planches I, II, III, IV, V et VI.

(1) Ces planches sont empruntées à un mémoire de Jevons, *Proceedings of the Royal Society*, t. CXII, 1926, p. 441.

Si nous examinons maintenant la deuxième disposition, tout ce qui vient d'être dit pour la première subsiste, au sens près : la bande est dégradée vers l'infrarouge; la tête est représentée par la branche R, et son arête est tournée vers le violet : la queue est la branche P ; l'arête de la branche R peut être manquante.

Si I et I' sont indépendants de m, donc de ω, les suites P, Q, R seront représentées par les équations (13), (14) et (15), ou par (19), (20) et (21). Calculons, au moyen de ces trois dernières équations, les intervalles $\Delta\nu$ entre composantes successives de chaque suite. On trouve aisément

$$\text{Branche R}^*, \qquad \Delta\nu = B' + C + 2Cm. \tag{24}$$

$$\text{Branche P}^*, \qquad \Delta\nu = -B' + C + 2Cm. \tag{25}$$

$$\text{Branche Q}^*, \qquad \Delta\nu = 2C + 2Cm. \tag{26}$$

Dans les trois cas, les intervalles successifs $\Delta\nu$ forment une progression arithmétique de raison

$$2C = \frac{h}{4\pi^2}\left(\frac{1}{I'} - \frac{1}{I}\right). \tag{27}$$

Ceci explique le succès rencontré par la première loi de Deslandres, qui s'énonce ainsi :

Les composantes d'une bande peuvent être classées en suites telles que les différences entre les fréquences de deux lignes consécutives varient en progression arithmétique.

En réalité, cette loi n'est qu'approchée ; l'on observe des écarts qui croissent avec le rang m de la composante : l'interprétation en est que, l'énergie rotationnelle croissant, l'on doit s'attendre à des variations possibles des moments d'inertie, donc de la constante C. Fort heureusement, il existe des procédés de contrôle indirect du classement correct des composantes, qui s'affranchissent des variations possibles de I et I'.

En effet, l'on peut toujours mettre les équations (13), (14) et (15) sous la forme générale

$$P(m) \equiv \nu_n + F(m-1) - f(m), \quad (m-1) \to m \tag{28}$$

$$Q(m) \equiv \nu_n + F(m) - f(m), \quad m \to m \tag{29}$$

$$R(m) \equiv \nu_n + F(m+1) - f(m), \quad (m+1) \to m; \tag{30}$$

car ces équations sont équivalentes à

$$P(m) = \nu_n + \frac{h(m-1)^2}{8\pi^2 I'} - \frac{hm^2}{8\pi^2 I}, \quad (m-1) \to m \tag{31}$$

$$Q(m) = \nu_n + \frac{hm^2}{8\pi^2 I'} - \frac{hm^2}{8\pi^2 I}, \quad m \to m \tag{32}$$

$$R(m) = \nu_n + \frac{h(m+1)^2}{8\pi^2 I'} - \frac{hm^2}{8\pi^2 I}, \quad (m+1) \to m \tag{33}$$

I' pouvant y être considéré comme une même fonction de $m-1$, m et $m+1$, successivement et I, une fonction de m.

Combinons (28), (29) et (30), de façon à calculer les différences $P(m+1) - Q(m)$ et $Q(m+1) - R(m)$. On obtient

$$P(m+1) - Q(m) = f(m) - f(m+1)$$

$$Q(m+1) - R(m) = f(m) - f(m+1).$$

Autrement dit, quel que soit m, on doit avoir

$$P(m+1) - Q(m) \equiv Q(m+1) - R(m). \tag{34}$$

Dans la notation de Curtis, cette équation devient

$$P^*(m) - Q^*(m-1) \equiv Q^*(m) - R^*(m) \tag{35}$$

comme il est aisé de le vérifier, en conduisant le calcul exactement de même à partir de l'équation (16) et des deux autres équations similaires relatives aux transitions

$$\left(m - \frac{1}{2}\right) \to \left(m + \frac{1}{2}\right)$$

et

$$\left(m + \frac{1}{2}\right) \to \left(m + \frac{1}{2}\right).$$

Lorsque les membres successifs de trois suites vérifient de semblables relations, aux erreurs d'expériences près, l'on peut être assuré que la classification des composantes est correcte. Le fait que l'on ait pu trouver, pour les diverses bandes étudiées, de semblables suites, constitue à lui seul une très remarquable justification de la théorie et l'on peut dire que l'apparition de celle-ci fut pour les spectroscopistes une « véritable révélation » (1).

Revenons maintenant au début de ce paragraphe. Nous y avons vu que la fréquence ν_n caractérise le saut quantique que subit l'énergie vibrationnelle, considérée isolément, de la molécule. Il est facile d'obtenir cette fréquence ν_n, au moyen des équations (19), (20) ou (21), puisque la constante C peut être exactement connue. Cette fréquence caractérise une ligne, qui, en fait, n'a jamais été observée, mais dont il est cependant naturel de prendre la position aisément calculable pour origine véritable de la bande. Elle est du reste très voisine de la ligne zéro, prise par Fortrat pour origine. A chaque saut quantique de vibration correspondra une valeur différente de ν_n, donc une bande différente On aura ainsi tout un ensemble de bandes à trois branches, correspondant aux divers sauts quantiques de vibration possibles et qui forment un système. La constitution d'un système obéit à des lois que nous étudierons plus loin, en examinant le cas général où il se produit aussi des transitions électroniques.

XIV. **Région comprise entre le proche infrarouge, de longueur d'onde voisine de 1 micron et l'ultraviolet.** — Dans cette zone, et en particulier,

(1) R. FORTRAT. *Loc. cit.*

dans le spectre visible, les trois termes ν_e, ν_n et ν_m coexistent et l'on obtient la plus grande complication, dont l'analyse est souvent laborieuse.

Dans ce cas, le changement dominant est de nature électronique, de sorte que les spectres de bandes de cette région présentent certains caractères communs avec les spectres de lignes. C'est pourquoi l'on observe dans les spectres de bandes, comme dans les spectres de lignes, des multiplets électroniques, nouvelle source de complication.

Les bandes de cette région se répartissent en systèmes; chaque système se subdivise en groupes ou suites de bandes; enfin, chaque bande d'un groupe présente une « fine structure », c'est-à-dire admet, comme dans le cas précédent, des lignes composantes, réparties, en général, suivant trois branches paraboliques.

Les bandes d'un même système correspondent à la même transition électronique : elles sont émises par toutes les molécules qui, à chaque instant, sont le siège de cette transition, caractérisée par une valeur commune de la fréquence ν_e.

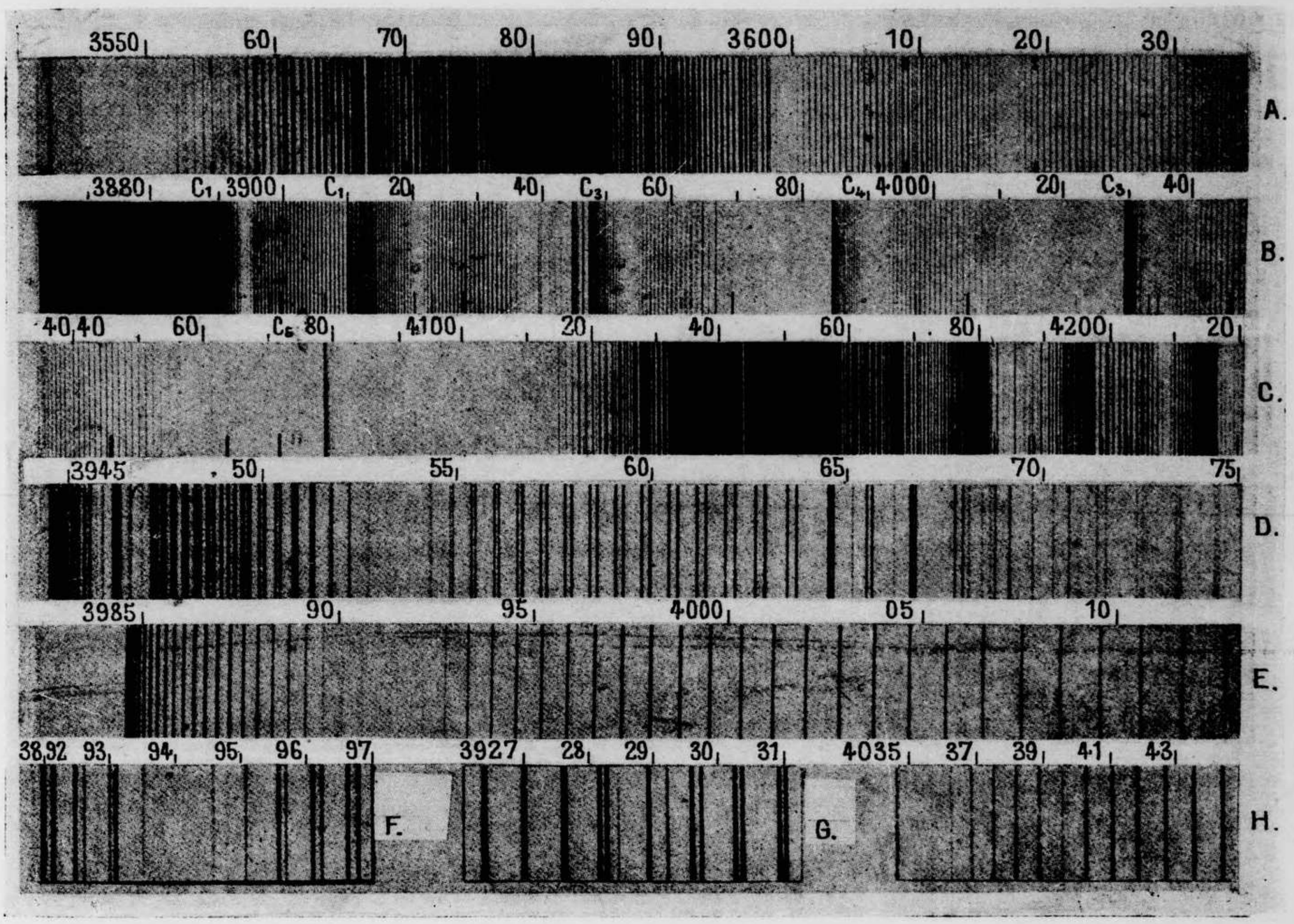


PLANCHE IV. — Spectre de la molécule CN observé dans l'azote actif (1) : A, portion la plus intense de la suite $n' - n'' = 1$. La tête $\lambda = 3542{,}27$ Å est celle de la bande A_4, qui appartient à la suite $n' - n'' = 2$. Le minimum 12, 14, d'intensité, au niveau de la ligne zéro de la bande B_1 (8,9), est nettement visible à $\lambda = 3617$ Å; B et C, les bandes C_1 à C_5, avec, en outre, la suite $\lambda = 4216$ Å des bandes CN et le commencement de la suite $\lambda = 3883$ Å; D, structure de la bande C_3 (12,12), $\lambda = 3945$ Å, où apparaissent des dédoublements des composantes et des perturbations de positions et d'intensités; E, structure de la bande C_4 (13,13), qui fournit un exemple particulièrement net d'une bande à deux branches (couple de bandes) donc avec une tête et une queue, séparées par une région faible comprenant la ligne zéro; F, région de la ligne nulle de C_2 (10,10), les composantes sont doubles; G, commencement de la perturbation de la branche P de C_2 (11,11); H, les quelques premières lignes de la branche P de C_5 (14,14). On y observe quelques exemples de perturbations : les composantes P (8), $\lambda = 4039{,}6$ Å et P (11), $\lambda = 4041{,}8$ Å n'ont pas les intensités qui correspondent à leurs positions dans la série, elles sont trop faibles.

Dans tout système, chaque bande est déterminée par une valeur donnée de n', nombre quantique vibrationnel initial et de n'', nombre quantique vibrationnel final. En pratique, n' et n'' ont les valeurs 0, 1, 2, 3, 4, 5, ..., quelquefois plus, pour les molécules lourdes, tandis que la différence $n' - n''$ se limite toujours à un petit nombre entier.

Les groupes ou suites de bandes d'un système réu-

(1) Cette planche est empruntée à un mémoire de F.-A JENKINS, *The physical Review*, avril 1918, t. XXXI, p. 539 558.

nissent les bandes de ce système pour lesquelles la différence $n' - n''$ a une valeur constante, telle que $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \ldots$

Nous avons vu plus haut que la structure de chaque bande est déterminée par des changements de m, nombre quantique de rotation. Ces changements sont limités aux valeurs ± 1 ou 0 et c'est pourquoi les ν_m sont d'ordinaire relativement petits, sauf aux températures élevées, de sorte que les lignes de fine structure sont en général très serrées et observables seulement sous forte dispersion.

L'origine d'une bande est représentée par la ligne composante de fréquence $\nu = \nu_e + \nu_n$, correspondant à $\nu_m = 0$ (1).

L'origine d'un système de bandes est de même représentée par la ligne composante pour laquelle la fréquence se réduit à ν_e, c'est-à-dire pour laquelle $\nu_n = \nu_m = 0$. La condition $\nu_n = 0$ caractérise la bande pour laquelle $n' = n'' = 0$, désignée par le symbole (0,0); $\nu_m = 0$ représente la ligne de structure origine de la bande (0,0).

D'après cela, ν_n est, pour une bande quelconque, la séparation de son origine avec l'origine ν_e de son système; ν_m est, pour une ligne de bande donnée la séparation de celle-ci avec l'origine $\nu_e + \nu_n$ de la même bande.

Il est clair que pour localiser l'origine vraie d'une bande et celle d'un système de bandes, il faut assigner aux bandes et aux lignes de structure des valeurs correctes de n et de m, ce qui nécessite souvent des tâtonnements assez laborieux.

On y est aidé par les relations de séries qui existent

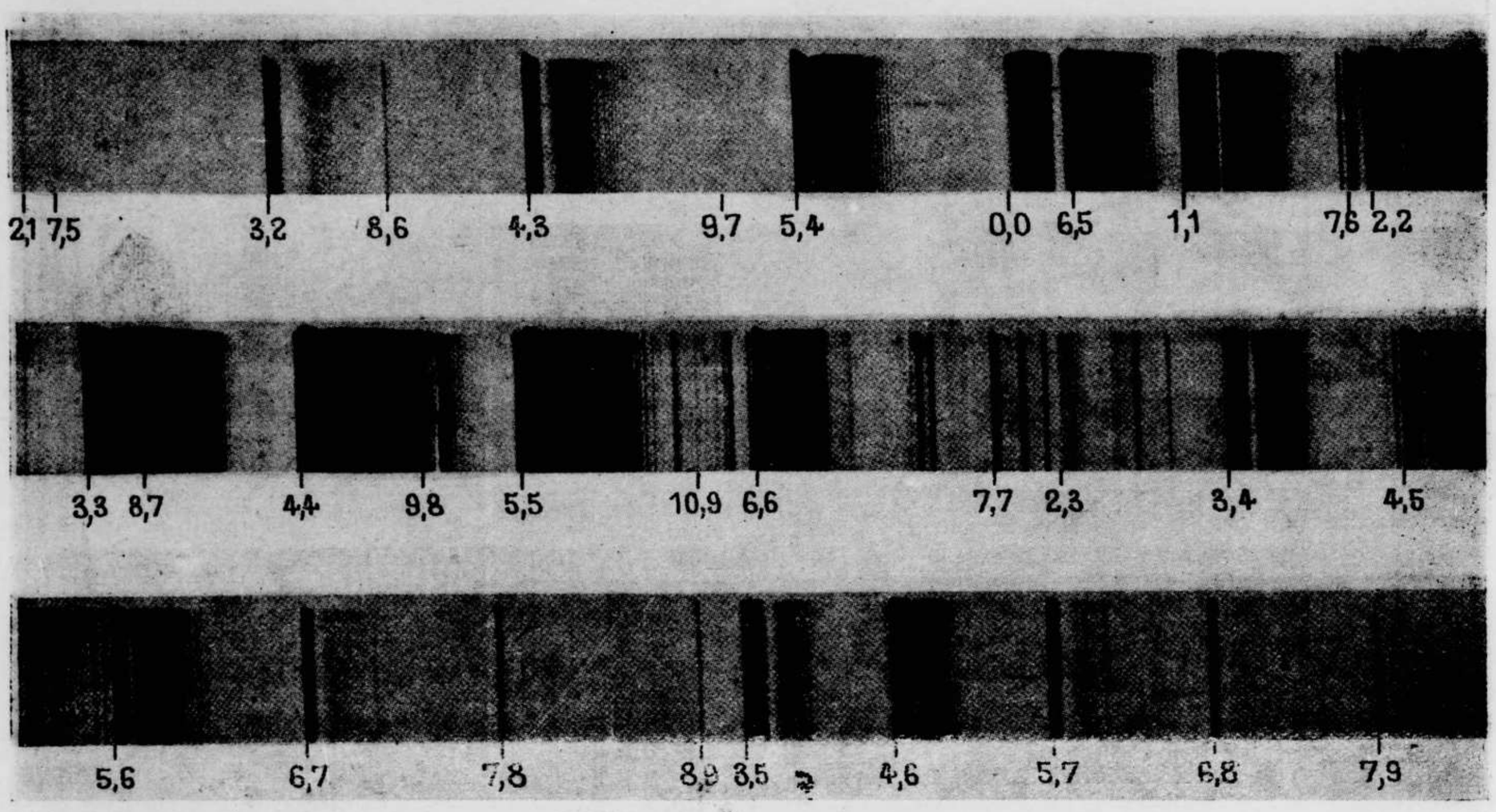


PLANCHE V. — Spectre de bandes complet de la molécule SiN, qui s'étend de $\lambda = 3986$ Å (en haut et à gauche) à $\lambda = 4800$ Å (en bas et à droite) (1).

entre les fréquences des origines de bandes et entre les fréquences des lignes de bandes.

Nous avons étudié plus haut ces dernières en détail et tout ce que nous avons vu à leur sujet subsiste ici sans modifications.

En ce qui concerne les origines des bandes, l'expérience indique que la vibration des atomes dans une molécule peut être regardée, en première approximation, comme un mouvement harmonique (c'est le cas pour de nombreuses molécules diatomiques, telles que AlO, N^2+, CN, SiN, SiF, etc.) (2). L'équation de l'oscillateur harmonique à laquelle conduit la récente théorie de Schrödinger n'admet de solutions que pour les valeurs caractéristiques de l'énergie vibrationnelle (ν_0 est la fréquence propre de la molécule correspondant à des vibrations d'amplitude infiniment petite)

$$E_n = \frac{1}{2} h\nu_0, \quad \frac{3}{2} h\nu_0, \quad \frac{5}{2} h\nu_0, \quad \ldots \left(n + \frac{1}{2}\right) h\nu_0$$

(1) Nous savons que cette ligne a une existence virtuelle, mais que l'on en peut aisément déterminer la position, par une extrapolation très simple et précise.

(2) Richard RUEDY. *Le Journal de Physique et le Radium*, avril 1929, t. X (6e série), p. 129-160.

(1) D'après R.-S MULLIKEN. *The physical Review*, septembre 1925, t. XXVI (2e série), p. 319-338. — Les diverses têtes de bandes sont désignées sur cette planche par les valeurs de n' et n'' qui les caractérisent. On voit qu'ici les suites s'enchevêtrent, ce qui n'empêche de les discerner aisément, grâce au numérotage. Le cliché, peu net, n'a pas permis, en général, d'obtenir une séparation nette des bandes en leurs lignes de structure.

qui donnent les niveaux vibrationnels possibles de la molécule. Ainsi, la théorie conduit à des demi-quanta. Les fréquences stationnaires de vibration de la molécule, ou termes de vibration, seront donc données par

$$T(n) = \left(n + \frac{1}{2}\right)\nu_0$$

où

$$n = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \ldots.$$

et les fréquences des radiations émises ou absorbées par

$$\nu = \nu_e + T(n') - T(n''), \qquad (36)$$

$$\nu = \nu_e + \left(n' + \frac{1}{2}\right)\nu'_0 - \left(n'' + \frac{1}{2}\right)\nu''_0, \qquad (37)$$

ν'_0 et ν''_0 étant les valeurs de ν_0 qui correspondent respectivement à $n = n'$ et à $n = n''$.

Plus exactement, la molécule se déforme un peu

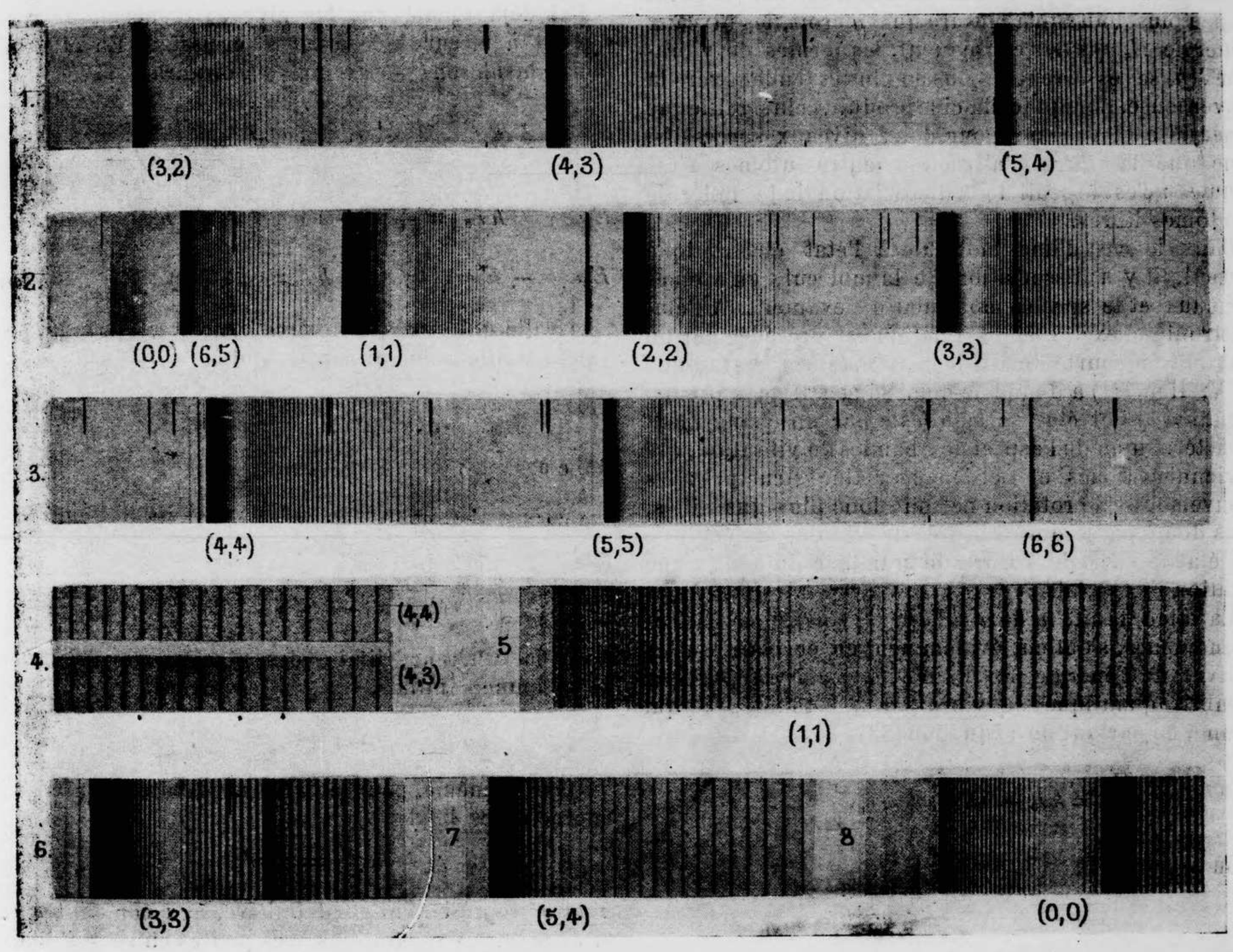


PLANCHE VI. — Même spectre que celui de la planche V, mais avec un pouvoir séparateur considérablement plus grand, qui permet d'apercevoir avec une netteté remarquable la structure des bandes (1). Les spectres 1, 2, 3 donnent l'aspect d'ensemble des bandes, avec le mode de numérotage habituel. Les spectres 4, 5, 6, 7, 8 fournissent des détails de structure, à plus grande échelle et révèlent, en outre, certaines perturbations (dédoublements ou anomalies d'intensités), indiquées sur la planche par des points.

lorsque l'énergie vibrationnelle croît, ce qui nécessite l'introduction d'un terme correctif, fonction croissante de $\left(n + \frac{1}{2}\right)$, et l'expression de l'énergie vibrationnelle prend la forme

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right)h\nu_0\left[1 - x\left(n + \frac{1}{2}\right)\right] \qquad (38)$$

où x est une fraction en général inférieure à 0,01.

La fréquence des origines des bandes est alors donnée par (2)

$$\nu = \nu_e + \left(n' + \frac{1}{2}\right)\nu'_0\left[1 - x'\left(n' + \frac{1}{2}\right)\right] - \left(n'' + \frac{1}{2}\right)\nu''_0\left[1 - x''\left(n'' + \frac{1}{2}\right)\right]. \qquad (39)$$

(1) F.-A. JENKINS et H. DE LASZLO. *Proceedings of the Royal Society*, t. CXXII, 1929, p. 103-121.

(2) R. RUEDY. *Loc. cit.* — F.-A. JENKINS et H. DE LASZLO. *Loc. cit.*

Du reste, les termes de vibration ne peuvent croître indéfiniment. L'équation (38) montre, en effet, que pour

$$x\left(n+\frac{1}{2}\right)=1, \qquad E_n=0,$$

ce qui signifie que la force de liaison entre les deux atomes de la molécule a disparu et que les atomes sont devenus libres.

Elle montre aussi, et nous reviendrons sur ce point un peu plus loin, qu'à mesure que n croît, les niveaux d'énergie E_n, et, par conséquent, les termes de vibration $T(n)$ se resserrent de plus en plus et tendent vers la convergence. Lorsque celle-ci se produit, cela signifie que l'énergie est la même pour deux niveaux successifs, donc que la force d'attraction entre atomes s'est annulée : c'est le seuil de la dissociation de la molécule en atomes libres.

Dans le cas d'une molécule à l'état électronique normal, il y a dissociation de la molécule en atomes normaux et le spectre moléculaire s'évanouit. A l'état électronique excité, la dissociation est précédée par un état de très courte durée (de l'ordre de 10^{-12} s) auquel M. V. Henri (1) a donné le nom suggestif de « prédissociation ». Cet état se manifeste par un changement caractéristique de l'aspect des bandes de vibration, qui deviennent floues et perdent leur fine structure : les mouvements de rotation ne sont donc plus quantifiés, sans doute parce que la durée de vie des molécules à cet état devient de l'ordre de grandeur de celle d'une rotation moléculaire.

La valeur limite n_1 de n, à laquelle correspondent ces phénomènes, s'obtient évidemment en écrivant que la dérivée de l'énergie de la molécule par rapport au nombre quantique de vibration n s'annule, ce qui donne, en partant de l'équation (38)

$$\frac{dE_n}{dn}=h\nu_0-2h\nu_0 x\left(n+\frac{1}{2}\right)=0$$

d'où

$$n_1+\frac{1}{2}=\frac{1}{2x}.$$

Le maximum des termes de vibration est donc atteint pour

$$\left(\frac{1}{2}+n'\right)_{max}=\frac{1}{2x'} \quad \text{et} \quad \left(\frac{1}{2}+n''\right)_{max}=\frac{1}{2x''}$$

valeurs pour lesquelles on a

$$T(n')_{max}=\frac{1}{2x'}\nu'_0\left(1-x'\frac{1}{2x'}\right)=\frac{\nu'_0}{4x'}$$

$$T(n'')_{max}=\frac{\nu''_0}{4x''}.$$

(1) V. Henri. *Structure des molécules*, édité par la librairie Hermann, à Paris (1925).

Ainsi, le spectre de vibration complet est composé de toutes les valeurs de $n'+\frac{1}{2}$ et de $n''+\frac{1}{2}$ comprises entre

$$\frac{1}{2} \quad \text{et} \quad \frac{1}{2x'} \quad \text{pour} \quad n'+\frac{1}{2},$$

$$\frac{1}{2} \quad \text{et} \quad \frac{1}{2x''} \quad \text{pour} \quad n''+\frac{1}{2}.$$

J'ai déjà signalé que les niveaux d'énergie se resserrent à mesure que n' et n'' croissent. En effet, si nous considérons par exemple n', on aura

$$E_{n'}=h\nu'_0\left(n'+\frac{1}{2}\right)-h\nu'_0x'\left(n'+\frac{1}{2}\right)^2,$$

$$E_{n'+1}=h\nu'_0\left(n'+\frac{1}{2}+1\right)-h\nu'_0x'\left(n'+\frac{1}{2}+1\right)^2.$$

$$E_{n'+1}-E_{n'}=h\nu'_0-2h\nu'_0x'(n'+1), \qquad (40)$$

intervalle qui diminue lorsque n' croît et prend pour valeur limite celle qui correspond à

$$(n'+1)+\frac{1}{2}=\frac{1}{2x'},$$

donc à

$$n'+1=\frac{1}{2x'}-\frac{1}{2}=\frac{1-x'}{2x'};$$

ce qui donne

$$(E_{n'+1}-E_{n'})_l=h\nu'_0x'$$

pour la différence limite des niveaux énergétiques vibrationnels initials, soit, en fréquence,

$$\Delta\nu'_1=\nu'_0x'.$$

On a, de même, pour la différence limite des niveaux énergétiques finals

$$\Delta\nu''_1=\nu''_0x'';$$

x' et x'' représentent en définitive, aux constantes ν'_0 et ν''_0 près, les séparations très petites entre les deux termes supérieurs des niveaux respectivement excité et normal. Il y a convergence vers ces limites et ce n'est qu'en première approximation, et pour des valeurs assez petites de n' et n'', c'est-à-dire assez loin des limites, que l'on peut considérer les niveaux successifs de l'état normal et de l'état excité comme à peu près équidistants, l'équidistance approchée étant représentée par les valeurs que prennent

$$\frac{E_{n'+1}-E_{n'}}{h}=\Delta\nu' \quad \text{et} \quad \frac{E_{n''+1}-E_{n''}}{h}=\Delta\nu''$$

lorsqu'on y considère x' et x'' comme négligeables, soit, immédiatement

$$\Delta\nu'=\nu'_0 \quad \text{et} \quad \Delta\nu''=\nu''_0.$$

Si nous nous plaçons dans le cas de cette approximation assez grossière (1), consistant à négliger les constantes x' et x'', les termes de vibrations représentant en fréquences les niveauxé nergétiques, respectivement normal et excité, s'écriront

$$T(n') = \left(n' + \frac{1}{2}\right)\nu'_0 \quad \text{avec} \quad n' = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \ldots$$

$$T(n'') = \left(n'' + \frac{1}{2}\right)\nu''_0 \quad \text{avec} \quad n'' = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \ldots$$

Et la fréquence de vibration, correspondant à l'origine d'une bande quelconque du système aura pour valeur

$$\nu = \nu_e + \left(n' + \frac{1}{2}\right)\nu'_0 - \left(n'' + \frac{1}{2}\right)\nu''_0$$

avec

$$n' = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \ldots$$

$$n'' = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \ldots$$

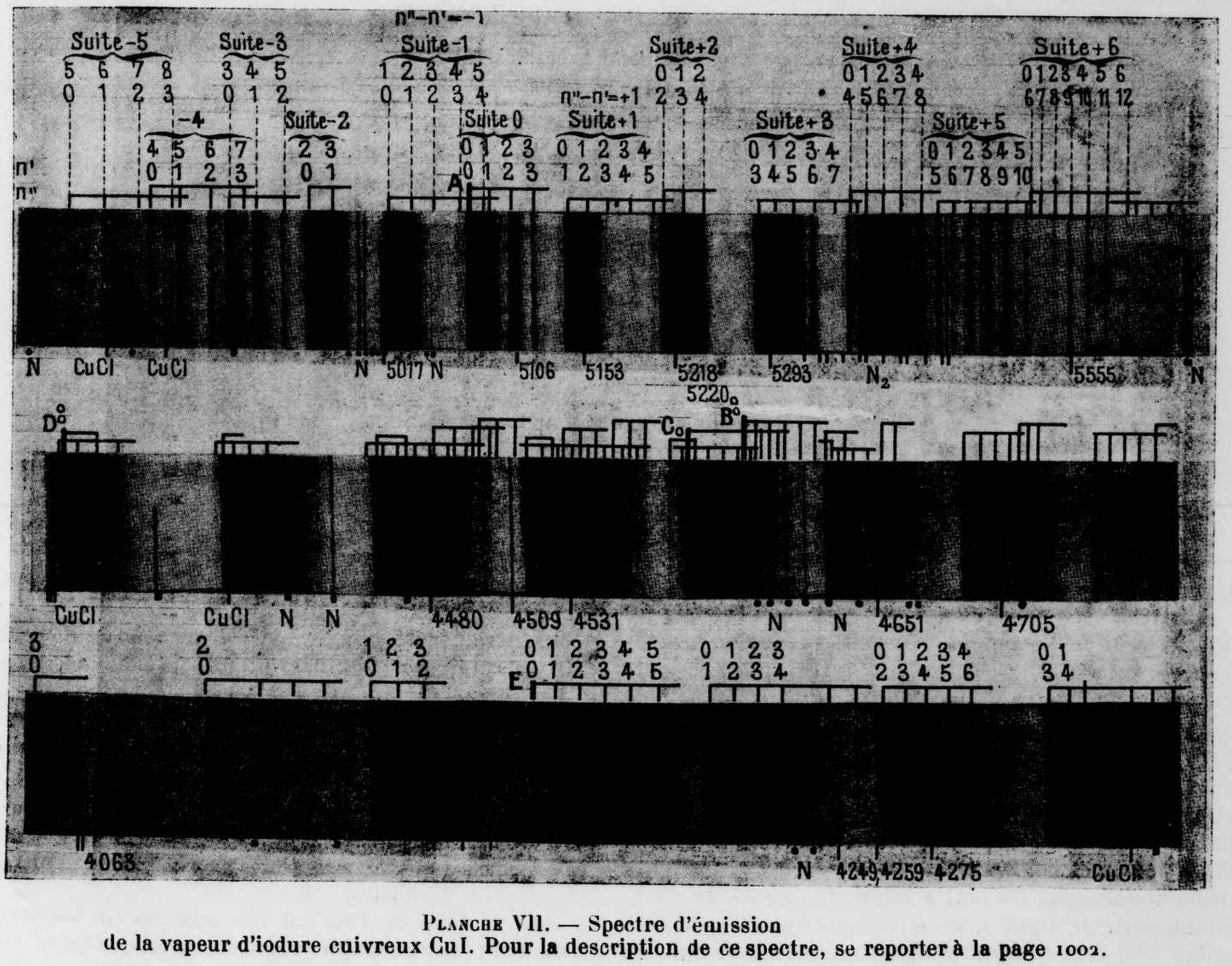


Planche VII. — Spectre d'émission
de la vapeur d'iodure cuivreux CuI. Pour la description de ce spectre, se reporter à la page 1002.

En principe, en combinant une valeur quelconque de n' avec une valeur quelconque de n'', on devrait avoir une bande ; en fait, la différence $n' - n''$ se limite toujours à un petit nombre entier, positif ou négatif.

L'on peut envisager divers procédés de classement des bandes d'un même système. On peut d'abord attribuer au nombre quantique final n'' des valeurs fixes, et au nombre quantique initial n' des valeurs variables, et former les suites

$$n'' = 0 ; \quad n' = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \ldots,$$

puis

$$n'' = 1 ; \quad n' = 0,\ 1,\ 2.\ 3,\ \ldots, \text{ etc.}$$

On obtient ainsi les *séries* de bandes de Deslandres, dans lesquelles les fréquences des arêtes successives ont des intervalles en progression arithmétique (deuxième loi de Deslandres) comme cela résulte de la formule générale (39) en y faisant n'' = constante et donnant à n' les valeurs successives 0, 1, 2, 3, ...

Au point de vue purement descriptif, le procédé qui semble le plus naturel et le plus pratique est de former des tableaux à double entrée des têtes de bandes d'un système, la ligne supérieure du tableau portant les

(1) Et qui, nous l'avons vu, correspond à un mouvement vibrationnel harmonique.

valeurs successives de n' et la colonne de gauche, celles de n'' : chaque bande se trouve à l'intersection d'une ligne et d'une colonne. C'est la disposition initialement proposée par Deslandres et d'un emploi maintenant très répandu.

Un autre procédé de classement consiste à réunir en un même groupe toutes les bandes du système pour lesquelles la différence $n' - n''$ possède une valeur constante, telle que $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \ldots$ Les groupes, ainsi formés sont désignés par la valeur correspondante de la différence $n' - n''$; ce sont ces groupes de bandes auxquels il a déjà été fait allusion au début de ce paragraphe. Enfin, au point de vue du mécanisme de production des bandes, il est clair que la représentation idéale est celle des niveaux d'énergie et des transitions correspondantes, comme dans le cas des spectres atomiques.

Afin d'illustrer ces diverses considérations, le mieux est de les faire fonctionner sur un exemple concret assez simple pour ne pas entraîner à de trop longs développements. C'est ce que nous allons faire. On consultera au préalable utilement le tableau V, qui résume la discussion précédente.

TABLEAU V. — *Structure d'un spectre de bandes, dans le cas général où* $\nu_e \neq 0$, $\nu_n \neq 0$, $\nu_m \neq 0$ (fig. 11).

1° Dans le spectre de bandes, valeur donnée de ν_e	Système de bandes	
2° Dans le système, valeur donnée de $n' - n''$	Groupe ou suite de bandes	$n' - n'' = 0$ $n' - n'' = \pm 1$ $n' - n'' = \pm 2$ . . . . .
3° Dans le groupe, valeurs données de n' et de n''	Bande individuelle	$n' = 0, 1, 2, \ldots 5, \ldots, 10, \ldots$ $n'' = 0, 1, 2, \ldots 5, \ldots, 10, \ldots$
4° Dans la bande, valeurs données de m' et de m''	Ligne de structure ou composante de la bande	
5° Origine d'une bande	Ligne de structure pour laquelle $\nu_m = 0$, donc $\nu = \nu_e + \nu_n$ c'est-à-dire $m' = m'' = 0$	
6° Origine d'un système de bandes	Ligne de structure origine de la bande $\nu_n = 0$, $\nu = \nu_e$ c'est-à-dire $n' = n'' = 0$.	

ANALYSE D'UN SPECTRE DE BANDES : SPECTRE D'ÉMISSION DE CuI. — A titre d'exemple, nous allons étudier brièvement le spectre d'émission de la vapeur d'iodure cuivreux (1). La planche VII reproduit la plupart des bandes de ce spectre; en haut, les bandes du système A; au milieu, les bandes B, C, la plupart de D, et quelques-unes du système E; en bas, une bande du système D, et une partie des bandes du système E; il y en a probablement quelques autres, vers l'ultraviolet. Chaque tête de bandes est indiquée par un trait vertical. Les traits horizontaux servent à réunir les membres d'une même suite de bandes. Dans chaque système, la première tête $(n', n'') = (0, 0)$ de la suite (0) (origine du système) est marquée par un trait vertical gras, accompagné de la lettre A, B, etc., assignée au système. Dans le système A, la suite (0), de gauche à droite, contient les bandes (0,0), (1,1), (2,2), (3,3), ... La suite voisine, à droite (+1), contient les bandes (0,1), (1,2), (2,3), (3,4), (4,5),... A gauche de l'origine est la suite (−1), avec les bandes (1,0), (2,1), (3,2), (4,3), (5,4),... ; avec la tête (5,4), cette suite empiète légèrement sur la suite (0).

Afin d'éviter les confusions, les groupes successifs du système A sont distingués par des traits alternativement longs et courts; pour les groupes des systèmes B, C, D, E, qui sont plus difficiles à reconnaître, on s'est servi de traits verticaux, de hauteur caractéristique pour chaque système et diminuant d'un système au suivant.

Les bandes A manifestent une répartition particulière d'intensités. Les suites voisines de l'origine sont les plus intenses, avec quelque avantage pour les suites positives. Dans les suites à bas nombres quantiques, la première tête est la plus intense, mais le maximum d'intensité se déplace vers la seconde tête avec les suites ± 3, et à des têtes de rangs plus élevés dans les suites plus éloignées.

Des résultats fournis par les mesures de longueurs d'onde au spectrographe et par le calcul des fréquences correspondantes (ou plus exactement des nombres d'ondes par centimètre, qui leur sont proportionnelles), on a dressé le diagramme d'énergie de la molécule CuI, qui est reproduit sur la figure 12. Les niveaux d'énergie y sont exprimés en nombres d'ondes par centimètre. Les niveaux électroniques N_0, niveau normal, A_0, B_0,... niveaux excités, sont représentés par un trait gras, au-dessus duquel sont figurés les niveaux vibrationnels correspondants, au moyen de traits maigres. Dans le cas des états électroniques excités, les lignes relatives aux niveaux vibrationnels ne sont tracées que suivant une portion de la largeur du diagramme, de façon à éviter des confusions. Les niveaux rotationnels ne sont pas représentés.

(1) R.-S. MULLIKEN. *The physical Review*, juillet 1925, t. XXVI (2e série), p. 11-32.

Les bandes du système A correspondent à des transitions des niveaux A aux niveaux N, les bandes B à des transitions des niveaux B aux niveaux N, etc.

Chaque bande observée est indiquée sur le diagramme (fig. 11) par un cercle placé à l'extrémité inférieure de la verticale qui figure la transition correspondante; le nombre inscrit dans chaque cercle est l'intensité de la bande, l'absence de nombre signifiant que l'intensité est très faible. Les bandes formant une suite sont réunies par des diagonales en trait ponctué, sauf

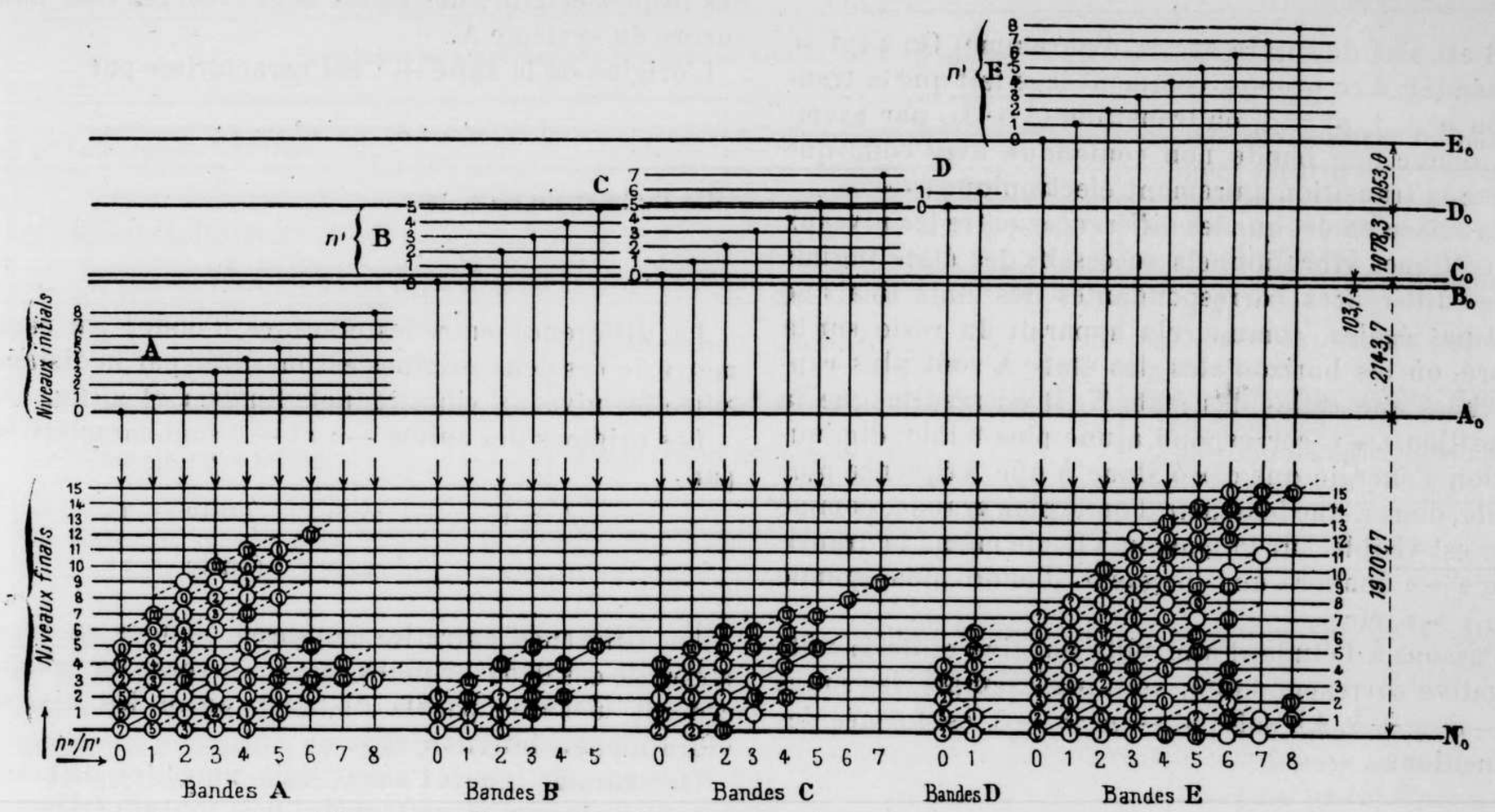


Fig. 11. — Diagrammes des niveaux d'énergie de la molécule CuI.

la suite (o), qui est représentée par une diagonale en trait plein. A droite du diagramme se trouvent indiqués les intervalles énergétiques, exprimés naturellement en nombres d'ondes par centimètre, entre les niveaux électroniques.

Il importe de se familiariser avec la lecture d'un tel diagramme, dont l'emploi est maintenant général aussi bien pour l'étude des spectres de bandes que pour celle des spectres de lignes.

Considérons d'abord des transitions purement électroniques, qui correspondent aux origines des cinq systèmes de bandes, donc aux têtes des bandes (o, o) de ces divers systèmes. Dans le système A, la transition est représentée par la première verticale de gauche;

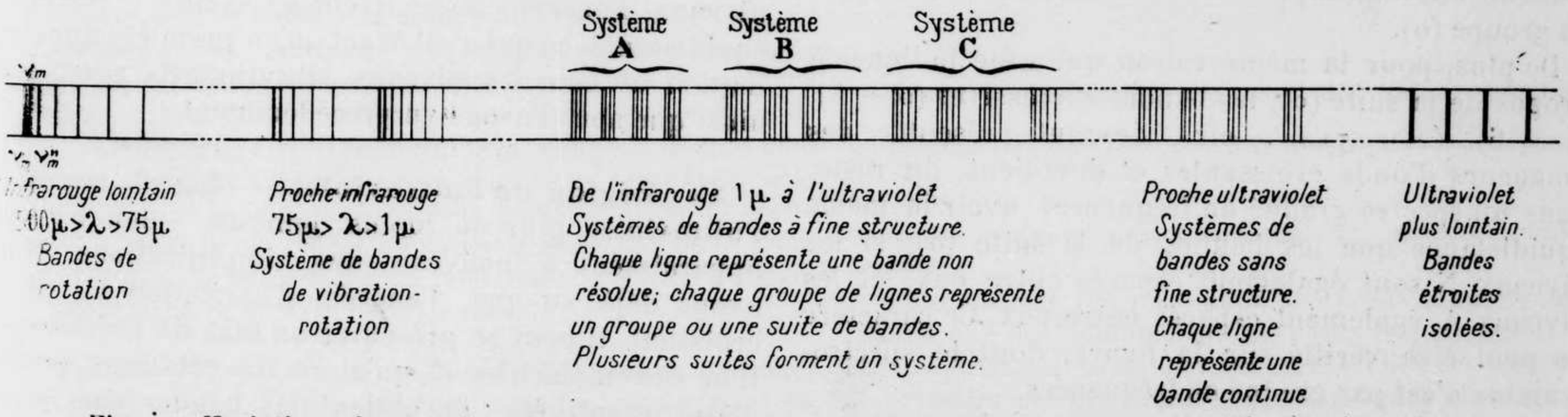


Fig. 12. Variations de structure des spectres de bandes, de l'infrarouge lointain à l'ultraviolet extrême.

la fréquence de la ligne de bande correspondante est égale à la différence de la fréquence du niveau A_0 et de celle du niveau N_0, soit $\nu = 19\,707{,}7$ ondes par centimètre.

Dans le système B, la transition purement électronique correspond de même au passage du niveau vibrationnel o, soit B_0, de B, au niveau vibrationnel o, soit N_0, de N; la fréquence de la radiation émise au cours de cette transition vaut, comme le montre la figure 11

$$\nu = 19\,707{,}7 + 2\,143{,}7$$
$$= 21\,851{,}4 \text{ ondes par centimètre}$$

De même pour les autres systèmes.

Considérons maintenant la suite (o) d'un système,

par exemple, du système A. Elle correspond aux transitions suivantes

Niveaux initials $n' = 0, 1, 2, 3, 4.$

Niveaux finals $n'' = 0, 1, 2, 3, 4.$

qu'il est aisé de suivre sur le diagramme. On peut se demander, à ce propos, comment il se fait que la transition $n' = 3$, $n'' = 3$, ou transition $(3 \rightarrow 3)$, par exemple, donne une bande non confondue avec celle que donne la transition purement électronique $(0 \rightarrow 0)$.

La raison en est que les différences entre les niveaux énergétiques vibrationnels successifs des états initials et les différences correspondantes des états finals ne sont pas égales, comme cela apparaît du reste sur la figure, où les horizontales des états A sont plus rapprochées que celles des états N. Il en résulte que la transition $1 \rightarrow 1$ correspond à une plus faible diminunution d'énergie que $0 \rightarrow 0$, donc à une fréquence plus petite, donc à une longueur d'onde plus grande, comme cela est visible sur la planche VII. de même la transition $2 \rightarrow 2$ donnera une longueur d'onde plus grande que $1 \rightarrow 1$, etc.

Passons à l'étude d'une suite positive et de la suite négative correspondante, soit, par exemple, les suites $n'' - n' = \pm 5$. La suite $n'' - n' = +5$ est formée des transitions

Niveaux initials $n' = 0, 1, 2, 3, 4, 5.$

Niveaux finals $n'' = 5, 6, 7, 8, 9, 10.$

Dans l'ensemble, cette suite est caractérisée par des longueurs d'onde notablement plus grandes que celles de la suite (o) : les niveaux finals étant de rangs plus élevés que pour la suite (o), la diminution d'énergie, et donc la fréquence de chaque transition sont diminuées et par conséquent la longueur d'onde, accrue ; sur la planche VII, le groupe $(+5)$ est bien, en effet, à droite du groupe (o).

De plus, pour la même raison qui a été indiquée à propos de la suite (o), les bandes successives $(0 \rightarrow 5)$, $(1 \rightarrow 6)$, $(2 \rightarrow 7)$,... etc., devront présenter des longueurs d'onde croissantes et devraient, du reste, dans un spectre gradué en fréquences, avoir la même équidistance que les bandes de la suite (o), si les niveaux N sont également espacés entre eux, et les niveaux A également espacés entre eux. Ce caractère ne peut être vérifié sur la figure, dont le spectrogramme n'est pas gradué en fréquences.

Quant à la suite (-5), elle correspond aux transitions

Niveaux initials $n' = 5, 6, 7, 8.$

Niveaux finals $n'' = 0, 1, 2, 3.$

(dont seule la dernière, $8 \rightarrow 3$, a été réellement observée). Ici, les rôles sont renversés : c'est l'état initial qui est élevé et l'état final qui est bas. La diminution d'énergie et la fréquence sont plus grandes que dans la suite (o), donc la longueur d'onde, plus petite : les suites négatives sont à gauche de la suite (o) (planche VII).

Il nous reste enfin à comparer les distances des bandes origines des suites positives avec les distances des bandes origines des suites négatives. Servons nous encore du système A.

L'origine de la suite $+1$ est caractérisée par

$$n' = 0, \qquad n'' = 1 ;$$

celle de la suite $+2$, par

$$n' = 0, \qquad n'' = 2.$$

La différence entre les nombres d'ondes par centimètre de ces deux origines est mesurée par la distance entre les niveaux vibrationnels finals 1 et 2 (fig. 11).

Les origines des suites -1 et -2 sont caractérisées par

$$n' = 1, \qquad n'' = 0 \qquad \text{(suite } -1).$$
$$n' = 2, \qquad n'' = 0 \qquad \text{(suite } -2).$$

La différence entre les nombres d'ondes au centimètre de ces deux origines est, à l'inverse du cas précédent, mesurée par la distance entre les niveaux vibrationnels initials 1 et 2.

Or, comme nous l'avons déjà noté, les distances entre les niveaux vibrationnels finals sont supérieures à celles qui séparent les niveaux vibrationnels initials.

La conséquence en est que les distances entre les origines des suites positives, d'ailleurs égales entre elles sur un spectre gradué en fréquences, doivent être plus grandes que les distances (aussi égales entre elles) entre les origines des suites négatives. La vérification n'en peut être effectuée directe ment sur laplanche VII qui est graduée en longueurs d'onde.

Bien entendu, tout ce qui précède suppose les niveaux d'énergie respectivement excités et normaux équidistants, ce qui n'est exact qu'en première approximation et pour les niveaux vibrationnels assez bas, ainsi que nous l'avons vu précédemment.

XV. **Région de l'ultraviolet.** — Dans la région de l'ultraviolet, plus ou moins lointain, selon les cas, apparaissent à nouveau des simplifications. Nous avons déjà vu que, l'énergie d'excitation allant en croissant, il peut se présenter un état de prédissociation des molécules et qu'alors les rotations cessent d'être quantifiées : on obtient des bandes sans structure, donc continues.

Pour une excitation plus énergique encore, donc pour une émission plus lointaine dans l'ultraviolet, la durée de vie des molécules animées de mouvements vibratoires tombera à son tour à une valeur si petite que les vibrations à leur tour ne sont plus quantifiées. On obtient alors une succession de bandes étroites isolées, qui correspondent aux diverses fréquences électroniques possibles ν_e.

Enfin, dans le cas d'excitations particulièrement violentes, la durée de vie des molécules est raccourcie au point que l'émission se réduit à celle des atomes libres : le spectre moléculaire fait place alors au spectre atomique.

Selon la stabilité des molécules, ce terme final peut

TABLEAU VI. — *Tableau récapitulatif.*

VARIATIONS DE STRUCTURE DES SPECTRES DE BANDES, SELON LE DOMAINE DE FRÉQUENCES ENVISAGÉ		
1° Infrarouge lointain	$\nu_e = \nu_n = 0 \quad \nu_m \neq 0 \quad \nu = \nu_m$	Bandes de rotation, formées de lignes réparties suivant une loi de série.
2° Proche infrarouge,.....	$\nu_e = 0 \quad \nu_n \neq 0 \quad \nu_m \neq 0 \quad \nu = \nu_n + \nu_m$	Bandes de vibration rotation, à fine structure.
3° Du proche infrarouge à l'ultraviolet.	$\nu_e \neq 0 \quad \nu_n \neq 0 \quad \nu_m \neq 0 \quad \nu = \nu_e + \nu_n + \nu_m$	Systèmes de bandes à fine structure.
4° Proche ultraviolet...	Rotations non quantifiées	Systèmes de bandes sans fine structure.
5° Ultraviolet plus lointain	Rotations et vibrations non quantifiées ...	Bandes étroites isolées, d'origine électronique.
6° Ultraviolet extrême.....	Dissociation de la molécule.....	Apparition des spectres atomiques

REMARQUE. — Cette progression est plus ou moins rapide, selon les cor, s

se présenter pour une fréquence plus ou moins élevée, et il ne faut pas prendre en un sens trop absolu la subdivision en régions qui a servi plus haut à schématiser cette évolution du spectre de bandes.

Le tableau VI et la figure 12, qui résument ce qui est relatif aux spectres de bandes, aideront le lecteur à acquérir une idée d'ensemble sur cette question assez complexe.

L. BRUNINGHAUS,
Docteur ès sciences,
professeur agrégé de l'Université.

Revues, analyses et informations

Expériences sur les conduites de l'usine de Miègebat.

MM. C. CAMICHEL, J. LECLERC DU SABLON et L. ESCANDE ont présenté sous ce titre, à la séance du 3 novembre 1930 de l'Académie des Sciences, une communication (1) dans laquelle ces auteurs montrent que la notion « d'ouvrages courts », introduite à la suite d'une série d'expériences de laboratoire, peut être étendue et cela, dans les mêmes conditions, à de grands rapports de similitude. Les expériences qui ont permis de conclure à la généralisation de cette notion, ont été effectuées à l'usine de Miègebat, de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, dans la vallée d'Ossau. Voici d'ailleurs le texte de cette note.

Parmi les problèmes de similitude relatifs aux ouvrages en charge, celui de l'écoulement dans les conduites et les collecteurs d'usines est particulièrement important. Divers auteurs ont étudié cette question, en particulier, M. E. Jouguet. Nous avons nous-mêmes, dans plusieurs séries d'expériences, mis en évidence une catégorie d'ouvrages auxquels l'un de nous a donné le nom « d'ouvrages courts »: ce sont ceux dans lesquels la turbulence est très grande et masque l'influence de la viscosité. Nous avons montré, en effet, que, pour ces ouvrages courts, l'expression générale des pertes de charge

$$\Delta p = \rho W^2 \varphi \left(\frac{WD}{\frac{\mu}{\rho}} \right),$$

se simplifie, la fonction φ prenant une valeur sensiblement constante dès que le nombre de Reynolds $\frac{WD}{\frac{\mu}{\rho}}$ dépasse une certaine valeur, caractéristique du mode d'écoulement étudié.

Pour étendre ces résultats à de grands rapports de similitude et à des nombres de Reynolds très élevés, il fallait nécessairement compléter les recherches commencées au laboratoire par des mesures systématiques effectuées dans les usines.

C'est pour atteindre ce but que nous avons entrepris à l'instigation de M. l'ingénieur en chef Godard et poursuivi depuis le début de l'année 1926, des expériences dans l'usine de Miègebat, de la Compagnie des Chemins de fer du Midi. Cette usine de 50000 ch, la plus puissante du groupe actuel des Pyrénées, absorbe sous une chute nette de 380 m des débits atteignant 13 m³:s et répartis entre trois conduites de 1,20 m de diamètre.

Nos expériences ont porté sur le collecteur dont le plan

(1) C. CAMICHEL, J. LECLERC DU SABLON et L. ESCANDE. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 3 novembre 1930, t. CXCI, p. 750-753, 900 mots, 2 figures

est reproduit dans la figure 1 sur laquelle les points noirs indiquent l'emplacement des prises de pression. Les modèles réduits correspondaient aux rapports de similitude 1/48, 1/24, 1/12. Ils étaient construits en bronze; les éléments des coudes étaient découpés à la fraiseuse, puis assemblés; les ajutages Venturi, fondus, puis tournés. Ces modèles étaient alimentés par un bassin de 30 m de hauteur qui permettait la détermination volumétrique des débits par une simple mesure de dénivellation; les débits étaient

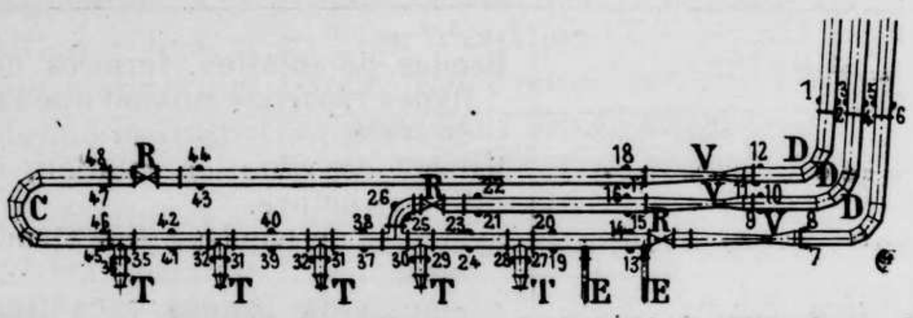


Fig. 1. — Croquis du collecteur de l'usine de Miègebat : R, robinet-vanne; V, compteur Venturi; T, turbine de l'alternateur; E, turbine de l'excitatrice; C, coude gauche. Les points numérotés représentent les prises de pression.

réglés au moyen de robinets placés à l'aval. La pression de 3 kg:cm² créée par le bassin d'alimentation permettait de réaliser des vitesses élevées tout en évitant les phénomènes de cavitation. Les pertes de charge étaient mesurées au moyen de tubes piézométriques à eau ou à mercure.

A l'usine, la mesure instantanée du débit était faite au moyen des compteurs Venturi (fig. 1) préalablement tarés en utilisant un déversoir de Bazin en mince paroi, à lame aérée par-dessous et sans contraction latérale, monté dans le canal de fuite de l'usine; pour ce tarage, on branchait l'usine sur des résistances liquides pour disposer d'une puissance bien constante. Les différences de pression étaient mesurées directement à l'aide de tubes piézométriques en verre épais, en réalisant la contrepression nécessaire au moyen d'un compresseur d'air.

Ces expériences ont été longues et délicates, car les mesures ont dû, à maintes reprises, être effectuées en laissant les alternateurs branchés sur le réseau dont les variations étaient parfois brusques et considérables, l'usine fonctionnant principalement comme régulateur de fréquence.

Les résultats obtenus ont été représentés par des courbes analogues à celles de la figure 2, courbes montrant les

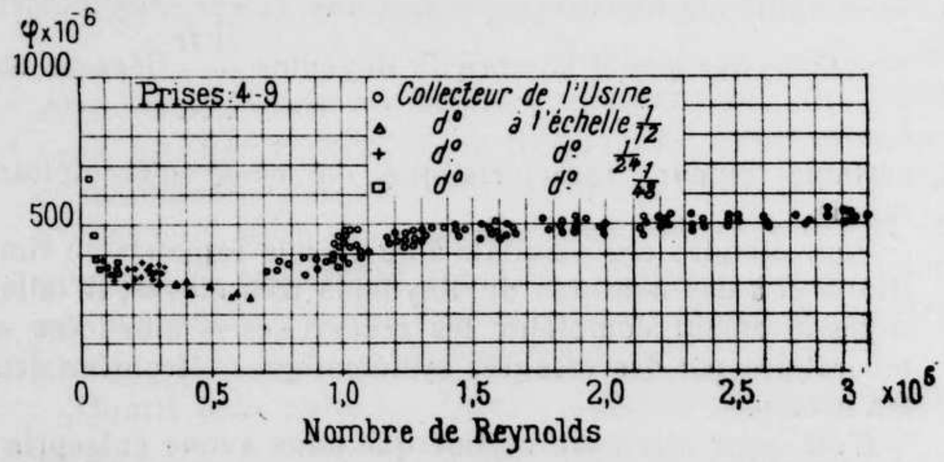


Fig. 2. — Points relevés de la courbe représentant la variation de la fonction φ du nombre de Reynolds $\frac{WD}{\frac{\mu}{\rho}}$.

variations de la fonction φ relative à chacune des différences de pression étudiées. Le nombre de Reynolds correspondant à chaque point a été déterminé en tenant compte de la température qui a varié entre 5° et 24° C dans l'ensemble des mesures.

Les conclusions de cette étude sont les suivantes : 1° les ouvrages considérés, coudes, ajutages Venturi, portions rectilignes faisant immédiatement suite à des singularités, constituent des ouvrages courts; en effet, la fonction reste sensiblement constante pour toutes les valeurs du nombre de Reynolds comprises entre 1×10^6 et 3×10^6 (fig. 2). L'extension de cette notion d'ouvrages courts à des ouvrages industriels mettant en jeu les dimensions et les vitesses couramment utilisées dans les usines hydrauliques constitue un point particulièrement intéressant;

2° Au point de vue de la similitude, les pertes de charge déduites des mesures effectuées sur les modèles réduits en bronze ne correspondent pas à celles observées sur les tubulures en acier de l'ouvrage réel. Les irrégularités de fabrication et la rugosité des parois nécessitent, en raison de leur caractère mal défini, l'emploi pour cette extrapolation d'un coefficient numérique déterminé empiriquement;

3° Les diverses pertes de charge, calculées par les formules de Maurice Lévy pour les portions rectilignes et de Rankine pour les coudes, correspondent avec une assez bonne approximation, aux résultats des mesures.

Sur la rapidité de l'allumage des redresseurs à vapeur de mercure (1).

L'auteur a utilisé pour ses recherches un oscillographe cathodique pour déterminer la durée de la période d'allumage lorsqu'une tension déterminée est appliquée brusquement aux bornes du circuit de recherche, les autres anodes de l'appareil étant en fonctionnement normal; cette durée est comprise entre 10^{-8} et 3×10^{-7} seconde. Il a utilisé, à cet effet, un redresseur du type normal, de 10 A et fonctionnant à une charge de 6 A; une des anodes de l'appareil avait été isolée du circuit normal et disposée pour être mise brusquement sous tension à l'aide d'un circuit comprenant un condensateur, un éclateur dans l'air et une résistance de 500 ohms. Le condensateur était chargé sous une tension de 6000 V; l'oscillographe permettait d'obtenir en même temps les tensions aux bornes du condensateur et aux bornes du circuit du redresseur; la différence entre les deux oscillogrammes donnait une mesure du courant. Ces courbes montrent que la variation de tension est d'autant plus rapide que la charge normale est établie depuis plus longtemps : c'est ainsi que, si l'appareil fonctionne depuis dix minutes, l'établissement du courant maximum dans le circuit expérimenté (12 A) requiert seulement une durée de $0{,}2 \times 10^{-7}$ s.

En diminuant les valeurs de la résistance en série avec le circuit de l'éclateur, le courant augmente et peut atteindre 200 A; mais l'allure générale des phénomènes est la même et la durée de l'allumage dépend toujours du temps pendant lequel l'appareil est en fonctionnement. Une diminution de la tension de charge du condensateur n'amène aucune différence appréciable dans les durées d'établissement du courant.

L'auteur discute ces phénomènes en s'appuyant sur divers travaux antérieurs notamment ceux de Rogowski, de A. Günthershulze et de O. Schumann. — E. B.

(1) W. Krug. *Elektrotechnik und Maschinenbau*, 8 juin 1930, t. XLVIII, p.567-569, 1500 mots, 4 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Prescriptions spéciales relatives aux installations de la première catégorie particulièrement exposées aux effets de la foudre

Des accidents d'électrocution se sont produits au cours de l'été 1929, dans un certain nombre d'installations rurales à basse tension, les unes en service, les autres en cours d'exécution, particulièrement dans le centre de la France. Il paraît nécessaire d'assurer, dans la limite du possible, une protection soignée de ces installations contre la foudre. L'Administration, d'une part, et l'Union des Syndicats de l'Electricité, d'autre part, se préoccupent d'établir l'ensemble de prescriptions spéciales à imposer pour cette catégorie d'installations. L'auteur se propose d'examiner, dans l'article qui suit, quelles sont les dispositions qu'il y aurait lieu de prendre, à son avis, pour organiser cette protection. Avant d'entrer dans le détail de cet examen, il expose quelques considérations générales sur la protection des personnes contre les dangers de la tension électrique, sur l'écoulement des surtensions et décharges de différente nature et sur le fonctionnement des prises de terre.

I. **Modes divers de protection contre les dangers de la tension électrique**. — La protection contre les dangers de la tension électrique peut être obtenue : 1° par isolement des pièces métalliques ou des conducteurs sous tension ; 2° par isolement des individus ; 3° par liaison à la terre des pièces métalliques susceptibles d'être mises sous tension.

Un isolement suffisant et solide des conducteurs est évidemment une protection certaine, mais non toujours possible. L'isolement des individus (emploi de planchers ou tapis isolants, utilisation de tabourets spéciaux, de perches isolantes ou de gants de caoutchouc, etc.), permet de protéger ces individus contre les contacts entre les conducteurs et le sol, ou éventuellement, dans des cas plus rares, entre deux conducteurs soumis à une différence de potentiel dangereuse ; mais, en dehors des cas où il s'agit d'un plancher ou tapis isolant fixe, ce mode de protection est beaucoup moins sûr que le premier, parce qu'il dépend de l'individu qui peut manquer de l'utiliser par oubli, par négligence ou par présomption.

Enfin, un autre mode de protection est très employé; il s'applique de préférence aux pièces métalliques qui ne sont pas ordinairement sous tension, mais peuvent le devenir accidentellement : c'est la « mise à la terre de ces pièces », c'est-à-dire leur liaison au sol par l'intermédiaire d'une canalisation convenable et d'une électrode plongée dans le sol, qu'on appelle « prise de terre » ou souvent « terre ».

Nous verrons plus loin que ce mode de protection par mise à la terre est beaucoup moins certain que les précédents.

II. **Ecoulement des surtensions et décharges diverses.** — La mise à la terre est également utilisée pour l'écoulement des surtensions ou des décharges diverses qui se développent sur les réseaux ; c'est même le seul moyen dont on dispose pour assurer cet écoulement et il ne faut pas confondre, comme on le fait souvent, les deux questions d'écoulement des décharges et de protection des personnes contre les dangers électriques.

Les conditions de l'écoulement des décharges par mise à la terre dépendent de la nature de ces décharges, de la résistance de la prise de terre et aussi, dans certains cas, de l'inductance et de la capacité du circuit de terre. Nous n'insisterons pas ici sur la théorie de l'écoulement des décharges dont l'étude, qui nous entraînerait trop loin, a été faite à différentes reprises dans les périodiques scientifiques (1). Nous rappellerons seulement quelques propriétés importantes relativement à la question en cours, Les courants qui s'écoulent par une prise de terre peuvent être constitués soit par un courant permanent, continu ou alternatif, soit par une décharge unidirectionnelle suivant une loi de variation quelconque, généralement très rapide, soit par une décharge oscillante (ou périodique amortie), le plus souvent à haute fréquence.

Les décharges provenant des coups de foudre ou autres phénomènes atmosphériques sont ordinairement du deuxième type, c'est-à-dire unidirectionnelles, à variation très rapide, et répétées plusieurs fois à de très courts intervalles de temps ; dans certains cas, que l'on s'accorde maintenant à considérer comme plus rares, ces décharges peuvent être oscillantes à haute fréquence. Ces décharges se présentent sous la forme de ce qu'on

(1) Ch. Lebdux ; Ondes mobiles : propagation, formation et protection. *Revue générale de l'Electricité*, 19 et 26 novembre, 3, 10, 17 et 24 décembre 1927, t. XXII, p. 815-826, 865-871, 923-942, 983-1000, 1045-1062 et 1119 1128.

appelle une onde mobile qui parcourt la ligne, depuis le lieu où se produit la perturbation jusqu'aux extrémités, à une vitesse sensiblement égale à celle de la lumière, en portant les points successifs de la ligne à à des potentiels plus ou moins élevés, avec passage en ces points d'un courant variable proportionnel à ces potentiels. Le processus de l'écoulement de la décharge varie avec la résistance comprise entre le conducteur et la terre et on sait que l'écoulement se fait de la façon la plus rapide lorsque cette résistance est égale à une constante caractéristique de la ligne d'amenée, qu'on appelle l'impédance d'onde et qui, pour les lignes aériennes usuelles, est voisine de 500 ohms. Pour les valeurs de la résistance s'écartant notablement de celle-ci, l'écoulement se fait par oscillation et dure d'autant plus longtemps que cet écart est plus grand ; en particulier, lorsque la résistance du circuit de terre est très petite, la décharge se fait par une oscillation relativement peu amortie.

Il ne faut pas oublier que l'énergie de la décharge ne peut être détruite que par les pertes qui se produisent sous formes diverses, effet Joule ou analogue, dans la résistance du circuit et que, en cas de résistance nulle du circuit de terre, cette énergie n'est détruite que par les pertes dans le reste du circuit (lignes et appareils), pendant l'oscillation.

Lorsque la résistance de terre est égale à l'impédance d'onde, la tension qui existe entre la ligne de terre et le sol suit à chaque instant la même loi de variation que pour les autres points du circuit et, par conséquent, cette conduite de terre se trouve portée, pendant toute la décharge, au potentiel de l'onde qui, en général, est assez élevé et, par suite, dangereux. Si la résistance de terre est très petite, il ne faut pas en conclure que la ligne de terre soit à un potentiel nul ; elle est portée à un potentiel variable pendant l'oscillation, potentiel tantôt nul, tantôt positif, tantôt négatif, cependant beaucoup plus faible que dans le cas précédent.

Lorsqu'une prise de terre se trouve parcourue par un courant permanent, comme celui qui prend naissance quand un conducteur à haute tension vient à entrer en contact avec un conducteur relié à cette prise de terre, il se développe, dans le passage à la terre, une chute de tension égale au produit ρI_d de la résistance de la terre ρ par le courant débité I_d et, par suite, la conduite de terre est portée à ce potentiel ρI_d.

III. **Protection obtenue ou danger occasionné par la mise à la terre.** — La mise à la terre (1) réalisera la protection des individus contre les dangers de contact avec le conducteur correspondant, lorsque le potentiel de ce conducteur sera continuellement maintenu à une valeur suffisamment faible (au maximum, une centaine de volts, pour les contacts accidentels normaux).

(1) A. Mauduit ; Protections obtenues et dangers occasionnés par les diverses mises à la terre dans les réseaux à basse et haute tension. *Revue générale de l'Electricité*, 8 juin 1929, t. XXV, p. 875-882.

On sait maintenant que la résistance d'une prise de terre ne réside pas surtout dans le contact entre la plaque et le sol, mais dans la résistance des couches de terrain qui avoisinent cette plaque. La résistivité des terres varie beaucoup avec leur nature, depuis 1000 ohms-cm dans le cas de terrains relativement conducteurs jusqu'à une valeur qui peut atteindre et dépasser 10^8 ohms cm pour un terrain rocheux très sec. L'eau pure (torrents de montagne) est elle-même très résistante ; sa résistivité dépasse 100000 ohms-cm. Dans ces conditions, lorsque une prise de terre est établie dans un terrain défavorable, elle a forcément une résistance très grande ; même en très bon terrain, on rencontre rarement des prises de terre d'une résistance inférieure à 5 ohms ; des valeurs de 20 à 500 ohms sont courantes pour les prises de terre usuelles dans des terrains moyens.

Il suffit d'un courant d'une intensité de 10 A dans une résistance de terre de 20 ohms pour porter la conduite de terre à un potentiel dangereux de 200 V ; on comprend ainsi que, pour obtenir une bonne protection, il faut que les prises de terre aient une résistance aussi faible que possible, et qu'il ne peut être question, pour les circuits à basse tension, de recourir à des valeurs de cette résistance voisines de l'impédance d'onde. Les conditions de rapide écoulement de la décharge sont donc incompatibles avec celles de la protection des individus et des résistances de cet ordre ne peuvent être employées que sur les circuits à haute tension, systématiquement écartés du public. Il est, par suite, de toute importance de réglementer l'exécution des prises de terre et d'imposer, pour celles de ces prises servant à la protection des individus, des résistances très faibles. Il ne semble pas qu'il ait été tenu suffisamment compte de cette considération dans les règlements officiels, où l'on semble trop facilement admettre que « conducteur mis à la terre entraîne potentiel zéro permanent » sur ces conducteurs, alors que le potentiel réel peut atteindre des valeurs dangereuses et même considérables.

Mais il ne suffit pas de prescrire de faibles valeurs de la résistance de terre ; il faut encore que ces faibles valeurs puissent être obtenues pratiquement ; or, dans certains terrains secs et rocailleux, même en utilisant plusieurs plaques de terre de grande surface, on arrive difficilement à exécuter des prises de terre qui ne dépassent pas de beaucoup la valeur de 5 ohms compatible avec un courant maximum bien modéré d'une intensité de 20 A ; il en résulte que la protection des individus par mise à la terre, dans des régions de ce genre, présente de si grandes difficultés qu'elle peut être considérée comme pratiquement irréalisable.

Certains auteurs préconisent l'emploi des *prises de terre par capacité*, consistant en électrodes de grande surface rapprochées du sol et pouvant présenter, d'autre part, une résistance propre assez élevée ; ils se basent, pour justifier ce point de vue, sur ce que des décharges à variation très rapide ou à haute fréquence s'écoulent aisément à travers une capacité. A notre avis, l'utilisation de pareilles prises de terre est dange-

reuse, d'une part, parce que, si la capacité laisse passer facilement des courants rapidement variables, elle ne détruit pas l'énergie correspondante et la décharge s'en trouve prolongée et, d'autre part, parce que les prises de terre sont presque toujours sujettes à se trouver parcourues par des courants permanents qui, dans un pareil cas, donneraient naissance à des chutes de tension considérables et, par suite, à des potentiels très élevés sur les conducteurs à protéger.

De tout ce qui précède, on peut tirer les conclusions suivantes : 1° dans les régions à sol très résistant, les prises de terre devront être particulièrement soignées et multipliées dans toute la limite du possible et la mise à la terre devra être utilisée uniquement pour les conducteurs sur lesquels des surtensions ou décharges sont à craindre et considérée alors comme moyen d'écoulement de ces décharges et non comme mode de protection des individus ; 2° la résistance des prises de terre servant à la protection des individus devra être fréquemment contrôlée et sa valeur maintenue inférieure à une certaine limite à fixer dans chaque cas (produit $\rho I_d < 100$ v).

IV. **Prescriptions relatives aux installations intérieures.** — Ces prescriptions s'appliquent aux zones particulièrement exposées aux perturbations atmosphériques, telles que les orages ; ces zones seront déterminées par le Service du Contrôle des Distributions d'Energie électrique des départements intéressés, d'accord avec les organismes qualifiés de ces départements. Les dispositions les plus importantes pour assurer la protection des installations intérieures sont : 1° l'emploi de parafoudres ; 2 la mise à la terre ou le renforcement de l'isolement de certaines parties de l'installation.

1. Parafoudres. — Pour éviter le développement de surtensions dangereuses sur les conducteurs de l'installation ou, tout au moins, pour assurer le plus rapidement possible la suppression de ces surtensions, il y a lieu de disposer sur chacun des conducteurs (ou fils de phase) de l'installation un parafoudre simple, mais de bonne qualité. Ce parafoudre peut être placé, soit à l'extérieur avant l'entrée, soit, d'une façon généralement plus économique, à l'intérieur, aussi près que possible de l'entrée des fils et en tout cas avant l'interrupteur général.

Un parafoudre étant un robinet de petite section, il importe d'en utiliser un grand nombre, pour assurer l'écoulement de fortes décharges, en les choisissant aussi simples et aussi économiques que possible. Pour qu'un parafoudre soit bon, il faut et il suffit qu'il s'amorce à une tension relativement faible et bien fixée et qu'il coupe aisément, sans détérioration, l'arc, dû au courant de ligne, qui suit la décharge.

Dans les écarts comportant un petit nombre de branchements reliés au réseau général par une ligne aérienne assez longue, il sera nécessaire de prévoir un parafoudre par fil de phase de chaque branchement. Dans les agglomérations comportant un grand nombre de branchements, il suffira de prévoir un parafoudre par fil de phase pour un groupe de branchements, afin de ne pas multiplier exagérément ces appareils et les prises de terre correspondantes.

Le Service du Contrôle pourra fixer à ce sujet telle répartition qui lui paraîtra convenable, en s'inspirant de ce qui a été dit plus haut.

Nous ne parlons pas de placer un parafoudre sur le fil neutre puisque nous proposerons plus loin de mettre ce fil à la terre.

Certains auteurs conseillent également de relier à la terre les ferrures des isolateurs des branchements pour faciliter l'écoulement des décharges atmosphériques ; cette disposition semble inutilement onéreuse ; en effet, les isolateurs, même les plus petits qui soient utilisés dans les installations à basse tension, ont une tension d'amorçage relativement élevée, généralement supérieure à 40 000 v. Sur une installation munie de parafoudres, s'amorçant sous une tension de quelques centaines de volts et placés près de l'entrée, il est parfaitement inutile d'organiser en parafoudres, fonctionnant au-dessus d'une tension de 40 000 v, les isolateurs eux-mêmes ; nous estimons donc inutile la mise à la terre des ferrures de ces isolateurs.

2. Mise a la terre ou renforcement de l'isolement. — Un certain nombre d'accidents d'électrocution étant attribués par les témoins à des étincelles jaillissant du compteur de l'interrupteur principal ou des pièces voisines sur des personnes s'en étant approchées de trop près, certains auteurs proposent, pour éviter ces accidents, de placer le compteur et l'interrupteur général sur un tableau métallique relié à la terre de façon que, si une décharge a lieu avec le sol, elle puisse se faire par un chemin simple, sans jaillir à l'entrée de la pièce.

A notre avis, cette disposition est franchement à rejeter comme beaucoup plus dangereuse qu'utile. Il résulte, en effet, de l'exposé général précédent que la mise à la terre d'une pièce conductrice entraîne le plus souvent, par suite de la valeur généralement trop grande de la résistance de terre correspondante, le développement d'un potentiel élevé sur cette pièce métallique, de telle sorte que la mise à la terre, au lieu d'être une protection, devient un cause de danger.

Nous avons, en particulier, expliqué que, par suite du danger présenté par la mise à la terre dans certaines circonstances, il faut en limiter l'emploi au cas où elle est nécessaire pour l'écoulement des décharges atmosphériques. Ce n'est pas le cas ici où, des parafoudres ayant été prévus en quantité suffisante sur les conducteurs, il ne convient pas de compter sur le compteur et ses accessoires pour fonctionner comme parafoudres auxiliaires. La disposition à prendre est, au contraire, *un isolement soigné de cet ensemble* qui assurera la protection des individus avec beaucoup plus de sécurité.

Le nouveau « Règlement des installations électriques dans les mines de combustibles » (décret du 30 juil-

let 1930) (1), prévoit (article 27) le choix entre les trois types de protection contre les dangers de contact avec un bâti d'appareil ou de machine à haute tension ; mise à la terre, isolement du bâti ou emploi d'un plancher isolant.

L'expérience montre que pendant les orages, un grand nombre d'abonnés ont l'habitude de couper l'interrupteur général précédant le compteur. Il est donc nécessaire de prendre des précautions pour qu'en effectuant cette manœuvre ils ne courent pas de danger d'électrocution. Je serais donc d'avis de prévoir des dispositions pour éviter ce danger ; on pourrait rédiger ainsi les prescriptions correspondantes :

« L'interrupteur général sera placé autant que possible en un endroit où le sol soit de nature isolante (plancher en bois, tapis de linoléum, etc.) ; si on ne dispose pas de local de ce genre, on établira cet interrupteur à une hauteur telle, au-dessus du sol, qu'il faille, pour le manœuvrer, monter sur un tabouret ou sur un autre support isolant.

» Enfin, dans le cas où aucune de ces dispositions n'est possible, on utilisera comme interrupteur général un modèle où toutes les pièces métalliques soient recouvertes par un isolant et où la poignée de manœuvre comporte un manche isolant susceptible de résister à des tensions élevées. »

Un grand nombre d'électrocutions se produisent également pendant les orages, à la suite de contacts d'individus placés sur un sol relativement conducteur avec de mauvais interrupteurs ou avec des récepteurs portatifs. Pour éviter ces accidents, nous serions d'avis d'ajouter un article prescrivant que, dans les locaux où le sol n'est pas suffisamment isolant (aire en terre battue des habitations ou des granges, dallage imprégné de purin des écuries et étables, etc.) il soit exclusivement fait usage d'interrupteurs et de prises de courant d'excellente qualité au point de vue de l'isolement et ne comportant aucune pièce métallique accessible dans la position de fonctionnement.

V. Prescriptions relatives aux lignes de distribution à basse tension. — Dans l'établissement d'une protection rationnelle des installations particulièrement exposées aux décharges atmosphériques, il ne suffit pas d'assurer au mieux l'écoulement de ces décharges, mais il faut essayer de diminuer leur importance par tous les procédés possibles. Un de ces procédés consiste dans l'utilisation des fils de terre, conducteurs placés au-dessus des lignes et reliés fréquemment à la terre en des points d'autant plus nombreux que les prises de terre individuelles sont plus résistantes. Cette solution a l'inconvénient d'être onéreuse ; on peut la rendre plus économique, en se servant, comme fil de terre, du fil neutre des distributions triphasées. Ce fil devrait alors être placé toujours au-dessus des fils de phase et, comme il pénètre dans les maisons, il devrait être mis à la terre en des points aussi nombreux que possible. Pour les installations normales, nous sommes toujours resté partisan (1) de l'isolement du fil neutre des distributions à basse tension, contrairement à la décision prise par le Comité d'Electricité et aux prescriptions du nouvel arrêté technique. Les deux dispositions, neutre à la terre et neutre isolé, présentent chacune des avantages et des inconvénients pour la protection des individus, et c'est une question de probabilité d'événements de nature diverses qui, seule, peut permettre de choisir judicieusement entre elles ; nous ne sommes d'ailleurs pas d'accord avec les valeurs numériques adoptées par M. Brylinski, ni, par suite, avec les conclusions qu'il en déduit.

En communauté avec les Associations de Propriétaires d'Appareils à Vapeur, nous avions demandé, pour les distributions triphasées des catégories B_1 et B_2, qu'il soit permis de choisir entre la mise à la terre du neutre *directement* ou par l'intermédiaire de *parasurtensions* ; nous n'avons obtenu ce libre choix que pour la catégorie B_2 (tension étoilée supérieure à 150 v) et non pour la catégorie B_1 (tension étoilée inférieure à 150 v), dans laquelle la mise directe du neutre à la terre a été imposée par le nouvel arrêté technique. Depuis ce temps, nous avons constaté que d'autres organismes officiels avaient adopté notre façon de voir : le nouveau « Règlement des installations électriques dans les mines de combustibles », signalé plus haut, autorise ce choix pour les catégories B_1 et B_2 (article 26 bis, paragraphes 1 et 2). Pour les réseaux à neutre isolé (ou relié à la terre à travers des parasurtensions), il prescrit les vérifications périodiques d'isolement, recommandées par les Associations de Propriétaires d'Appareils à Vapeur à leurs abonnés, vérifications qui permettent de s'assurer que le réseau possède un isolement suffisant pour que le danger de contact soit moindre qu'avec le neutre à la terre (article 37, paragraphe 4).

Sans vouloir insister sur cette ancienne controverse, nous dirons simplement que, partisan du neutre isolé dans les cas normaux, où les chances de contact accidentel des individus avec le réseau dans son état normal sont beaucoup plus fréquentes que les surtensions d'origines atmosphériques, devant la difficulté d'assurer la protection contre la foudre dans ces cas spéciaux visés plus haut, nous admettons qu'il y ait alors intérêt à recourir à la *mise à la terre du fil neutre utilisé comme fil de garde*, à condition que cette mise à la terre soit faite en des points très nombreux, de façon que la résistance totale de ces prises de terre en parallèle reste très faible. Le contact des individus avec le réseau, en temps normal, sera plus dangereux qu'avec le neutre isolé, mais le danger des orages prime, dans ce cas, l'autre danger.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 4 et 11 octobre 1930, t. XXVIII, p. 549-552 et 589-592.

(1) A. Mauduit ; Protections obtenues et dangers occasionnés par les diverses mises à la terre dans les réseaux à basse et à haute tension. *Revue générale de l'Electricité*, 8 juin 1929, t. XXV, p. 875-882. — Voir aussi l'opinion contraire : E. Brylinski ; Sur la mise à la terre du neutre dans les réseaux triphasés à basse tension. *Revue générale de l'Electricité*, 9 novembre 1929, t. XXVI, p. 749-753.

L'emploi des parasurtensions pour la mise à la terre du neutre utilisé comme fil de garde serait illogique, car l'écoulement des décharges se ferait moins bien et les parasurtensions seraient fatalement détériorés.

Dans ces conditions, nous estimons que l'emploi des réseaux à des tensions étoilées supérieures à 120 v pour les zones en question devrait être interdit comme très dangereux. D'ailleurs, l'emploi des tensions étoilées supérieures à 150 v a pour but de réaliser des réseaux très étendus; or, il est bien préférable, dans les zones orageuses, de diviser, au contraire, les distributions en réseaux moins étendus, alimentés chacun par un transformateur différent.

Nous serions enfin partisan de stipuler que, en aucun cas, *les prises de terre du fil neutre à basse tension* ne puissent être reliées à un autre circuit de terre (de réseau à haute tension ou de bâti de transformateurs). Cette disposition, sur laquelle nous avons appelé l'attention dans l'article cité plus haut, a pour but d'éviter qu'une décharge, provenant d'un circuit à haute tension, ne puisse, soit directement, soit à travers un bâti de transformateur, passer dans la terre du neutre et produire une élévation de potentiel de ce neutre et de tout le réseau correspondant; des accidents de ce genre ont été souvent constatés et sont particulièrement à redouter dans les zones fréquemment foudroyées.

A. Mauduit,
Directeur de l'Institut d'Electrotechnique et de Mécanique appliquée de Nancy.

Revues, analyses et informations

Progrès récents réalisés dans les systèmes de protection des lignes de transmission et de distribution d'énergie (1).

1. Introduction. — L'accroissement constant de la puissance mise en jeu dans les réseaux de distribution rend de plus en plus difficile le choix des dispositifs efficaces de protection contre les surintensités de courant, bien qu'un nombre considérable de systèmes divers aient été expérimentés. La principale difficulté réside dans la valeur très élevée des courants de court-circuit qui peuvent prendre naissance et circuler, non seulement dans les sections présentant des défauts, mais aussi dans des sections demeurées saines. La discrimination est de ce fait délicate : pour les lignes courtes tout au moins, les dispositifs de protection différentielle à équilibre de courants sont efficaces, mais ils doivent être compensés pour tenir compte des courants de charge des lignes souvent importants et inégaux d'une phase à l'autre; ces courants peuvent, en effet, dans certains cas, créer un déséquilibre de l'importance de ceux dus aux courts-circuits. Une autre difficulté réside, pour les réseaux bouclés alimentés en plusieurs points, dans l'indétermination du sens de circulation du courant par le défaut suivant le point où se produit celui-ci. Enfin la complexité des réseaux exige, pour éviter les disjonctions intempestives, un soin particulier dans l'étude et l'installation des relais. D'autre part, le capital à investir est généralement considéré comme fonction de l'importance qu'on attache à la continuité de la fourniture d'énergie en tous points.

2. Relais a temps. — Ces relais qui furent les premiers utilisés comprennent les relais à temps défini (indépendant du courant) et les relais à temps inverse dont le temps de déclenchement varie en raison inverse du courant. Si on admet que le temps maximum pouvant s'écouler, sans affecter la stabilité des groupes synchrones, entre le début d'un court-circuit déterminé et l'instant de la disjonction est de l'ordre de 2 s et que la durée de coupure du disjoncteur est de l'ordre de 0,25 s, les temps de fonctionnement des relais successifs devront différer les uns des autres de 0,5 s au moins et l'on pourra en avoir 5 agissant sur 5 disjoncteurs en série. Le relais à temps défini, qui est probablement le plus simple, est un relais à induction à courant maximum. Le même type d'appareil peut d'ailleurs être établi comme relais à temps inverse. Les caractéristiques de la temporisation en fonction du courant montrent, en effet, que pour une faible saturation les temps de déclenchement varient en raison inverse de la charge, tandis qu'ils restent sensiblement constants au delà d'une certaine charge. On peut compter que ces appareils présentent une exactitude de fonctionnement à $\pm$ 5 pour 100 près. Ces appareils sont munis de bobines de très faible impédance, ce qui est important pour leur sensibilité dans le cas d'alimentation par transformateur de courant.

3. Relais unidirectionnels a maximum de courant. — Ces relais agissent lorsque la puissance mise en jeu lors de la surintensité de courant s'écoule dans un sens déterminé. Ils sont nécessaires dans un réseau alimenté en plusieurs points, sur les lignes où l'écoulement de la puissance peut avoir lieu dans un sens quelconque. Ils comportent un élément à maximum de courant, du type précédent, par exemple, à temps déterminé de déclenchement ou à temps inverse et un élément directionnel constitué par un relais wattmétrique très sensible. Les connexions sont établies de telle sorte que l'élément à maximum de courant ne peut être prêt à déclencher que si l'élément wattmétrique, en fonctionnant tout d'abord, a fermé le circuit de sa bobine.

La figure 1 représente le schéma d'un exemple d'application de ces relais à la protection contre les mises à la terre. Ce schéma, qui comporte d'ailleurs de nombreuses variantes, permet d'obtenir pour l'élément directionnel une tension qui soit en relation correcte de phase avec le courant de la phase avariée. Dans ces montages, cette tension est nulle tant qu'il n'existe aucun défaut. Dans le cas d'un réseau avec point neutre isolé, le même schéma peut être utilisé, mais le relais doit être suffisamment sensible pour fonctionner sous l'action du courant de charge entre les deux phases saines et la terre, et de la tension résultant de la résistance

(1) T.-W. Ross et H.-G. Bell. *Journal of the Institution of electrical Engineers*, juillet 1930, t. LXVIII, p. 801-823, 12 000 mots, 33 figures, 1 tableau. Discussion, p. 823-852, 23 000 mots, 10 figures.

de terre. De plus, l'élément directionnel doit être branché comme un relais de puissance réactive.

4. Relais d'impédance. — Les relais précédents n'assurent plus toutefois la sélectivité d'une manière correcte dès que le nombre de points d'alimentation du réseau et de sous-stations devient important. Pour cette dernière raison, en particulier, on serait obligé d'accepter un temps total de

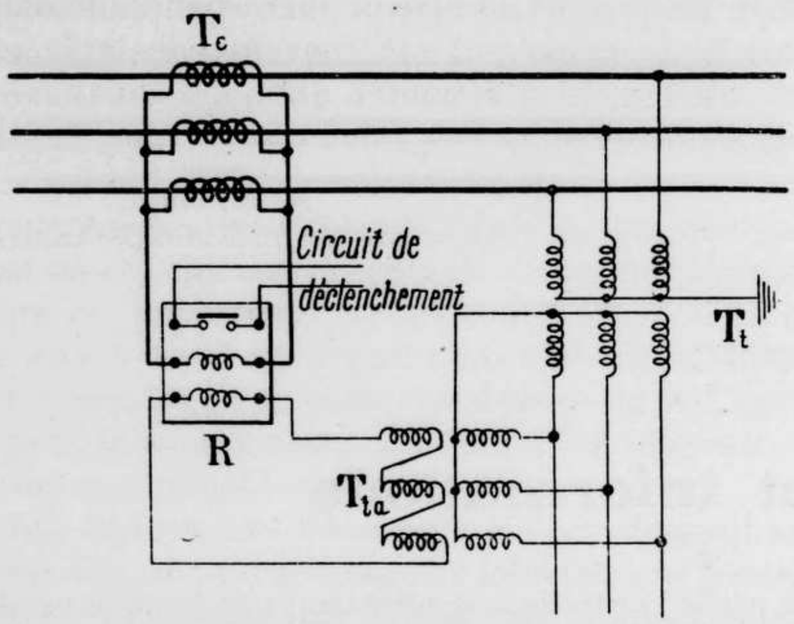


Fig. 1. — Schéma des connexions d'un relais unidirectionnel pour la protection contre les courts-circuits dus à des mises à la terre : R, relais; Tc, transformateur de courant; Tta, transformateur auxiliaire de tension; Tt, transformateur de tension.

déclenchement beaucoup trop long. Le relais d'impédance remédie à cet inconvénient et s'est considérablement répandu ces dernières années. Le fonctionnement de cet appareil est basé sur le fait que la relation entre le courant du défaut et la tension au point de connexion du relais dépend de l'impédance de la portion de ligne entre le défaut et le relais. Ainsi, un relais de ce type ayant une bobine en dérivation et une bobine en série dont les couples sont en opposition sera déterminé pour dévier dans le sens de fermeture de ses contacts quand le rapport $\frac{E}{I}$ sera plus faible que l'impédance de la portion de ligne à protéger. Mais une difficulté pratique résulte de la résistance variable de l'arc lors d'un amorçage. Une méthode simple et effective de compensation de cette résistance consiste à insérer une résistance réglable dans le circuit des bobines en série du relais. La chute de tension dans cette résistance est composée avec la tension d'alimentation de la bobine en dérivation, de telle sorte que le couple antagoniste dû à celle-ci ne dépende que de la tension de réactance du tronçon de ligne (fig. 2). Cette composante active est faible par rapport à la tension totale, même pour de très longs arcs et la méthode de compensation ci dessus indiquée permet d'en rendre l'effet absolument négligeable.

5. Relais a minimum de tension. — Il peut arriver que le courant de court-circuit maximum sur une ligne alimentée par un générateur de faible capacité soit limité à une valeur inférieure à celle correspondant à la pleine charge lorsque tous les générateurs sont en service. On règle parfois les relais (relais à maximum de courant ou relais d'impédance) pour cette valeur du courant de court-circuit et on leur adjoint un relais supplémentaire à minimum de tension fonctionnant en cas de chute de tension d'une certaine valeur et fermant le circuit secondaire du relais principal qui déclenche si l'intensité du courant de réglage est atteinte. La chute de tension à partir de laquelle l'appareil fonctionne est déterminée de manière que le relais ne fonctionne qu'en cas de court-circuit.

6. Dispositifs de protection différentielle a fils pilotes. — Parmi ceux-ci, qui sont nombreux, deux systèmes semblent avoir été expérimentés avec un plein succès. Une première solution consiste à prévoir un relais à induction dont l'enroulement primaire est excité par le secondaire

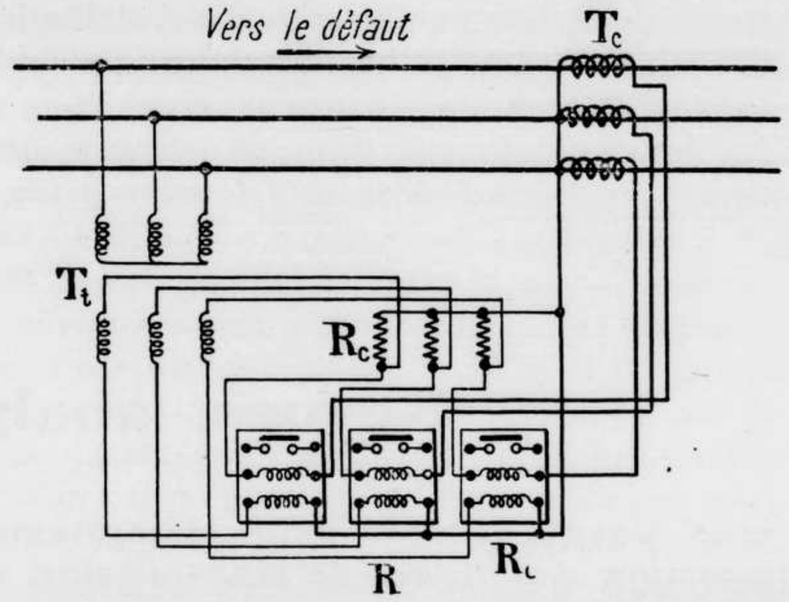


Fig. 2. — Schéma des connexions d'un relais d'impédance avec dispositif correctif pour tenir compte de la résistance des arcs d'amorçage : R relais; Rc résistances de correction; Rt, bobines antagonistes; Tc, transformateurs de courant; Tt, transformateurs de tension.

d'un transformateur de courant. L'enroulement secondaire du relais alimente un électroaimant inférieur dont le flux en se composant avec le flux de fuites de l'électroaimant supérieur fera tourner un disque en métal non magnétique. A l'autre extrémité du tronçon à protéger se trouve le même relais et les circuits secondaires sont couplés en opposition par l'intermédiaire de fils pilotes. Si, par suite d'un défaut, le courant n'est pas le même dans les transformateurs alimentant les relais à chaque extrémité il circulera un courant dans les fils qui provoquera la disjonction.

La figure 3 représente un schéma des connexions de ce système appliqué à la protection d'une ligne triphasée. Deux

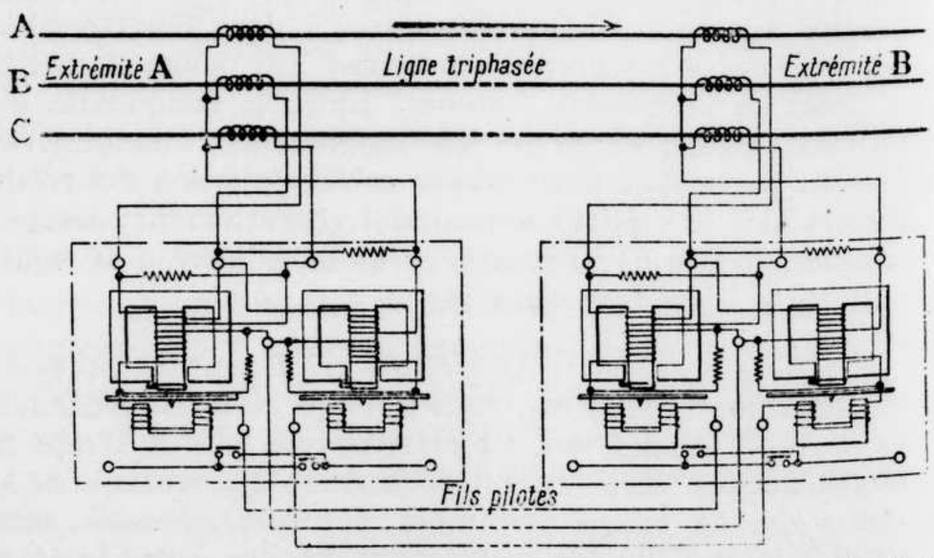


Fig. 3. — Schéma des connexions d'un dispositif de protection différentielle appliqué à une ligne triphasée.

relais sont utilisés à chaque extrémité. La protection est assurée pour les mises à la terre et les défauts entre phases. Un premier avantage de ce système est que l'action des flux

sur le disque peut être réglée pour qu'il tourne dans le sens correct quand les flux sont en phase ou faiblement déphasés. Les courants de capacité dans les fils pilotes n'auront donc aucun effet nuisible sur le fonctionnement de l'appareil, effets dont il a été fait mention plus haut. De plus, les fils pilotes peuvent être ici de sections réduites et de faible isolement.

Le deuxième système dit système « autocompensé » n'est pas à tensions équilibrées, mais au contraire à circulation de courant (fig. 4). A chaque extrémité de la ligne à protéger, un transformateur de courant alimente le primaire d'un transformateur dit de « sommation » dont les enroulements sont couplés comme l'indique le schéma de la figure 4 et de telle sorte qu'un courant circule dans les deux fils pilotes extérieurs. Ce courant est généralement de l'ordre

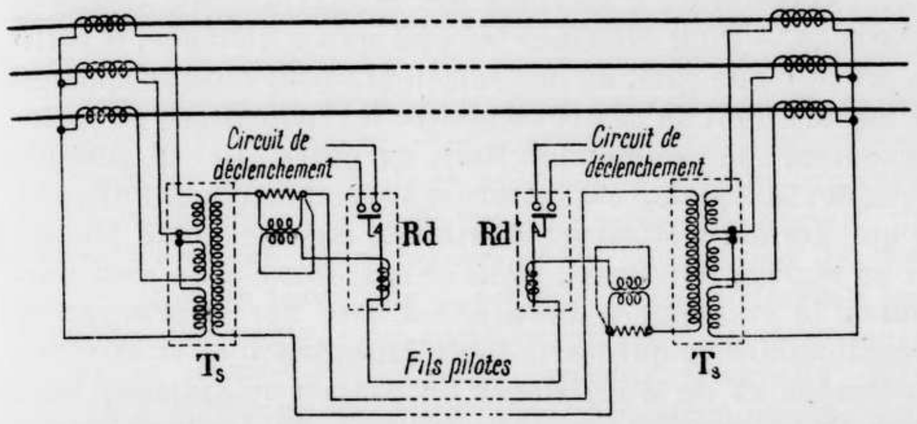


Fig. 4. — Schéma des connexions d'un dispositif de protection différentielle à autocompensation d'une ligne de distribution: R_d, relais à lame vibrante; T_s, tranformateur de sommation.

de 0,3 A. Deux relais unipolaires sont montés à chaque extrémité en série avec un troisième fil pilote entre deux points équipotentiels du circuit à circulation de courant. Ce dispositif simple requiert toutefois deux modifications destinées à le prémunir contre des déclenchements incorrects dus à des courants de capacité dans les fils pilotes ou à des courants transitoires de haute fréquence. La première consiste à maintenir les deux extrémités du fil pilote des relais au potentiel du point central des fils pilotes du circuit à circulation de courant (fils pilotes extérieurs). Ce résultat est obtenu par l'intermédiaire de deux petits transformateurs survolteurs dont les enroulements primaires sont alimentés chacun respectivement par un shunt en série à chaque extrémité de l'un des fils pilotes et les enroulements secondaires présentent chacun une différence de potentiel égale à la moitié de la chute de tension dans un des fils pilotes extérieurs. Ces enroulements secondaires sont montés en opposition entre eux et en série avec les bobines des relais. Grâce à ce dispositif, les courants de capacité circulant dans les fils pilotes extérieurs et arrivant de part et d'autre du fil pilote des relais s'y neutralisent. Le deuxième dispositif de sécurité consiste en l'emploi de relais à lame vibrante accordée pour vibrer seulement à la fréquence de régime.

Signalons enfin dans cette classe de systèmes à fils pilotes les dispositifs à tensions équilibrées, mais à relais à courant continu. La figure 5 représente un exemple de l'un des montages utilisés dans ce cas. Les transformateurs de sommation sont calculés de manière qu'en cas de défaut une tension secondaire y soit induite. Des relais instantanés à maximum de courant et unidirectionnels assurent d'abord la fermeture des secondaires de ces transformateurs sur des redresseurs alimentant le fil pilote dans lequel sont insérés les relais à courant continu. Les redresseurs sont du type à oxyde de cuivre, produisant instantanément le courant continu dès qu'ils sont excités.

7. Discussion. — Dans la discussion qui suivit la présentation de cette communication devant l'Institution of electrical Engineers, MM. H.-W. Clothier et B.-H. Leeson décrivent trois systèmes de protection, pour lignes à très haute tension, systèmes dérivés du système Merz-Price à fil pilote. Parmi ceux-ci nous décrirons brièvement le sys-

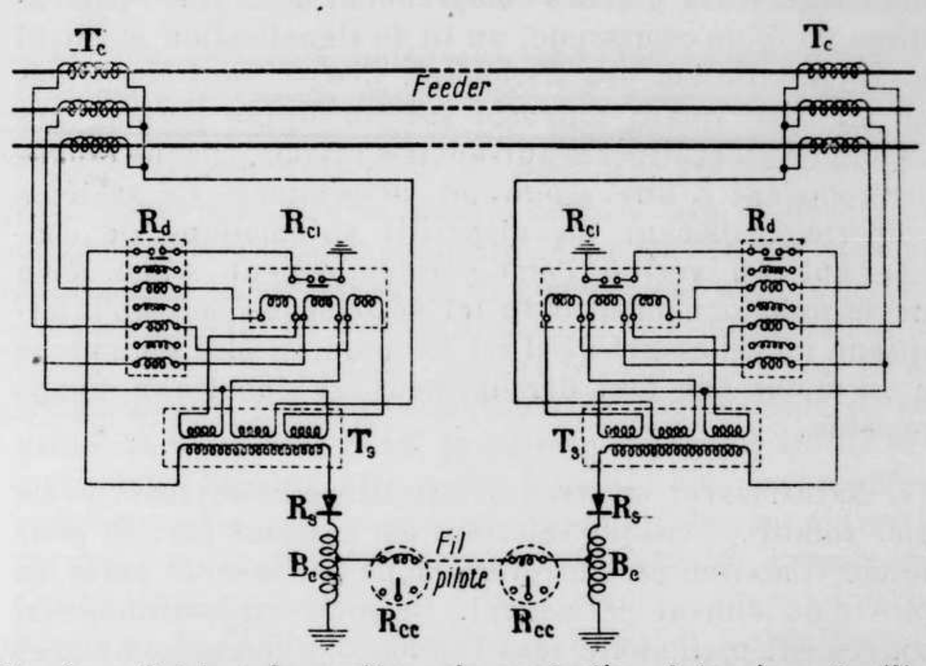


Fig. 5. — Schéma du système de protection à tensions équilibrées et à relais à courant continu : B_c, bobines de choc; R_{cc}, relais à courant continu; R_{ci}, relais instantané à maximum de courant; R_d, relais unidirectionnel à courant alternatif; R_s, redresseur; T_c transformateur de courant; T_s, transformateur de sommation.

tème dit à « fil pilote divisé » ainsi dénommé parce que le fil pilote sur lequel sont branchés les relais est formé de deux conducteurs, donnant un équilibrage automatique des courants de capacité (fig. 6). Une connexion de déclenche-

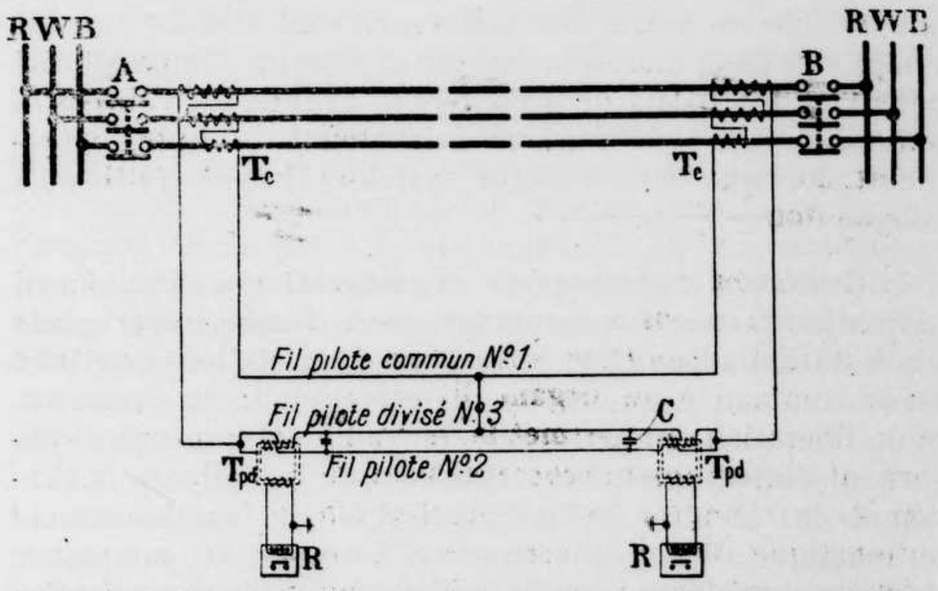


Fig. 6. — Schéma du système de protection à fils pilotes divisés pour des tensions inférieures à 44 000 v: A, B, disjoncteurs; C, condensateur; R, relais; T_{pd}, transformateur du fil pilote divisé.

ment relie les points milieux équipotentiels du fil pilote supérieur et de l'un des fils pilotes divisés. Cette connexion n'est parcourue par un courant qu'en cas de défaut. Dans ce cas, l'équilibre est rompu dans les enroulements primaires des transformateurs du fil pilote divisé ce qui provoque le fonctionnement des deux relais simultanément que le défaut soit alimenté par le côté A ou par le côté B. — M. R.

Système Brown Boveri de commande à distance à sélecteurs (1).

1. Généralités. — Ce système, qui ne nécessite que cinq conducteurs de liaison entre la station émettrice et la station réceptrice permet, outre la commande proprement dite, la signalisation à la station émettrice des opérations exécutées à la station réceptrice et la transmission de cette dernière à la première des indications des appareils de mesure. Les cinq conducteurs précités comprennent deux fils d'alimentation, un fil de commande, un fil de signalisation et un fil de synchronisation des sélecteurs. Ceux-ci sont constitués par un balai rotatif tournant sur un disque portant des rangées de plots disposés suivant des rayons, chaque rangée correspondant à une opération déterminée. Ce système comporte également un dispositif automatique de contrôle qui en vérifie l'état périodiquement. Ainsi, bien que le fonctionnement d'un tel système ne soit qu'intermittent, on est assuré qu'il est toujours en état de marche ou du moins que tout dérangement est signalé en temps opportun.

2. Entraînement et synchronisation des sélecteurs. — Le balai rotatif de chaque sélecteur est entraîné par un petit moteur constitué par un rotor bobiné qui se meut entre les pôles d'un aimant permanent. Ce rotor est maintenu en mouvement oscillatoire sous l'action des forces combinées dues à son champ propre, au champ créé par l'aimant permanent et enfin à un ressort antagoniste. Ce mouvement oscillatoire est transformé en un mouvement de rotation. Un tel moteur a l'avantage de ne comporter ni collecteur, ni bagues, ni balais, et son fonctionnement ne dépend que de la fréquence du courant auxiliaire qui l'alimente en restant insensible aux variations de la tension. La synchronisation des deux sélecteurs est obtenue au moyen de deux rupteurs calés respectivement sur chaque arbre et branchés en série dans le circuit d'excitation des relais commandant le moteur d'entraînement. Ces rupteurs ne sont en position fermée que lorsque les balais des sélecteurs sont arrêtés sur des rangées de plots correspondantes. Il s'ensuit l'impossibilité pour l'un des balais de prendre une avance sur l'autre. On obtient ainsi le synchronisme des balais à chaque déplacement, alors que dans d'autres systèmes il n'est vérifié qu'à chaque tour.

3. Commande d'interrupteur et signalisation d'une modification automatique de connexions. — A chaque interrupteur de la station réceptrice correspond à la station émettrice ou de commande un organe dit interrupteur de commande et de libération qui permet la transmission d'un ordre concernant l'interrupteur correspondant de la station commandée ou la réception de la signalisation du fonctionnement automatique de cet interrupteur. L'organe de commande doit être manœuvré lors d'une réception de signalisation pour que le système des sélecteurs soit libéré et mis en état de recevoir une nouvelle signalisation ou de transmettre un ordre C'est un petit interrupteur rotatif à contacts multiples qu'il suffit de tourner de 90° dans un sens ou dans l'autre pour que toutes les manœuvres correspondantes se déroulent par l'intermédiaire des relais de démarrage, d'arrêt et de signalisation. A cet interrupteur sont associées des lampes témoins qui permettent, en particulier lors de la réception d'une signalisation, de déterminer immédiatement lequel des interrupteurs de commande et de libération doit être manœuvré pour libérer le système. En outre, cette réception est accompagnée d'un signal acoustique qui attire l'attention du personnel du poste de commande. Au poste commandé, la réception des courants d'émission est faite pour chaque appareil à manœuvrer par un relais de commande. Ce relais comporte deux bobines reliées l'une à un pôle de la ligne d'alimentation, la deuxième à l'autre pôle et en outre par un contact à bascule à la ligne de liaison. Suivant qu'on transmet un ordre d'enclenchement ou de déclenchement, l'une ou l'autre de ces bobines est excitée et produit la manœuvre désirée. La signalisation des manœuvres automatiques se produit par un jeu de contacts commandés directement par l'appareil lui-même.

4. Transmission a distance des indications des appareils de mesure. — Pour effectuer les mesures à distance, il suffit de prévoir une position des sélecteurs pour chaque appareil de mesure dont on désire connaître les indications et un interrupteur de commande. Mais, en outre, il est possible d'adapter le système à la lecture et à la commande simultanée, ce qui permet d'effectuer à distance un réglage de tension ou un réglage de vitesse. Dans ce cas, le mode de transmission de la grandeur à mesurer est basé sur le principe du potentiomètre, ce qui écarte toute dépendance de la variation de tension et de la résistance de contact de passage. Dans ce cas, à l'appareil de mesure est relié un tambour bobiné sur lequel glisse un balai qui vient partager la résistance en deux parties, correspondant à deux tensions partielles. Ces deux tensions sont alors transmises à l'appareil récepteur, dont le système mobile est constitué par deux bobines disposées en croix. Suivant l'importance des vitesses de transmission et les conditions de service, on peut employer un système dans lequel l'instrument de mesure porte une bobine d'équilibrage qui tend à contrebalancer l'effet de la grandeur à mesurer. Un potentiomètre automatique, mis en marche dès que le système de mesure n'est plus en équilibre et s'arrêtant dès que l'équilibre est établi, envoie dans la ligne un courant exactement proportionnel à la grandeur à mesurer. Les mesures obtenues sont absolument indépendantes de la chute de tensions de la ligne de transmission ou des variations de la tension auxiliaire.

Dans tous les cas il n'est possible que d'effectuer des lectures momentanées. Si on désire obtenir une lecture constante des appareils de mesure il faut faire appel à un système indépendant, avec sélecteurs spéciaux exigeant trois fils de liaison de plus. Ce système permet d'effectuer la lecture continuelle sur un grand nombre d'instruments.

5. Surveillance automatique du système. — Il peut arriver que, pour une raison quelconque, la tension auxiliaire nécessaire au fonctionnement du système vienne à manquer. En égard à cette éventualité, on a prévu un relais à tension nulle qui verrouille tout le système ; ce relais, quand la tension revient, ne permet la réponse à une commande ou à une signalisation automatique qu'après un essai préalable des sélecteurs et des lignes de liaison. On a également prévu une horloge qui détermine périodiquement un essai de l'ensemble du dispositif. Cette vérification peut, par exemple, s'effectuer toutes les heures en laissant les sélecteurs accomplir un tour complet ; si un défaut se manifeste durant l'opération, il est révélé par le fonctionnement d'un signal acoustique. — J. S.

(1) E. de Mulinen. *Revue Brown Boveri*, septembre 1930, t. xvii, p. 285-292, 1 500 mots, 14 figures.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société d'Eclairage et de Force par l'Electricité à Paris.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 19 JUIN 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 50 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 26, rue Laffitte, nous extrayons ce qui suit :

Les résultats du trente-neuvième exercice de la société terminé le 31 décembre 1929 sont en progression sur ceux de l'exercice précédent; il en sera de même pour le présent exercice, comme on peut le voir par un rapide examen des diverses sociétés dans lesquelles la société est intéressée (1). Mais on peut voir aussi que, pour conserver leur situation favorable, ces sociétés ont dû presque toutes mettre en œuvre d'importants capitaux nouveaux. Elles sont loin d'être au bout de leurs investissements, puisqu'elles ont toutes de longues durées de concession à parcourir encore; aussi tous les efforts de la société et ceux de ses associés dans ces entreprises tendent-ils à les conserver en état d'obtenir des résultats qui correspondent aux sacrifices qu'elles ont faits dans le passé et attirent à elles les capitaux sans lesquels elles ne pourraient assurer convenablement les importants services publics dont elles ont assumé la charge.

La Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité a passé avec la Ville de Paris de nouveaux accords qui modifient sensiblement le régime créé par la convention de 1907 et ses avenants successifs. En confiant à un consortium constitué par l'Union d'Electricité, la Société d'Electricité de Paris et la Société Electricité de la Seine la gérance de ses usines pour se consacrer plus spécialement au développement de la distribution, la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité s'est assuré le bénéfice des progrès que réalisent de manière continue les deux plus importantes entreprises de production thermique d'électricité de France. Elle se réserve, en même temps, la possibilité de suivre avec plus de souplesse et avec des ressources entièrement disponibles pour cet objet le développement des besoins en énergie électrique de la population parisienne.

Les intérêts importants que la société dont nous nous occupons possède dans le Nord-Lumière se sont augmentés l'année dernière du fait de sa participation, dans la mesure de ses droits, à l'augmentation de capital que cette société a réalisée. Pendant l'exercice 1929, le Nord-Lumière a encore développé ses installations; il distribue maintenant l'énergie électrique à 185 000 abonnés. Les extensions nouvelles et l'amélioration de ses installations existantes, qui font de son réseau un des mieux desservis de France, en ce qui concerne la régularité de la distribution, ont entraîné pour l'exercice écoulé une dépense de plus de 40 millions de francs, supérieure à celle des années précédentes.

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 9 novembre 1929, t. XXVI, p. 767.

Le rôle, déjà très important, que joue l'Union d'Electricité dans la région parisienne, est appelé à s'accroître encore dans l'avenir, en raison notamment des accords récents avec la Ville de Paris dont il a été question plus haut. C'est pour être en mesure de faire face au développement considérable que ses fournitures sont encore appelées à prendre, qu'elle a passé et négocie encore des accords avec les sociétés hydroélectriques qui mettent en valeur les chutes d'eau du Plateau central et des Alpes, en même temps qu'elle poursuit activement la construction de son usine de Vitry-Sud, dont la puissance pourra, au fur et à mesure des besoins, être portée à 400 000 kw; les premières unités de cette usine pourront vraisemblablement entrer en service à la fin de cette année ou au début de l'année prochaine. Une augmentation actuellement en cours va porter le capital de l'Union d'Electricité de 275 à 350 millions de francs. L'Union d'Electricité a distribué, en 1929, 1 milliard 004 975 000 kw-h contre 817 210 000 en 1928, soit une progression d'environ 23 pour 100.

La Société d'Electricité du Nord-Est parisien continue à se développer normalement. Elle s'est procuré, au début de cette année, par une émission d'obligations, les disponibilités qui lui sont nécessaires pour poursuivre son programme de travaux. Les résultats d'exploitation continuent à progresser.

L'Union électrique du Centre a donné en 1929 les résultats qu'on en attendait. Elle a, pendant cet exercice, poursuivi le regroupement des installations précédemment exploitées par diverses sociétés, afin d'en améliorer les conditions techniques d'exploitation.

La Société andélysienne d'Electricité a complété ses distributions par la prise de concessions directes dans un certain nombre de communes où elle ne faisait que fournir l'énergie électrique à haute tension à un concessionnaire local dont les installations ne remplissaient plus les conditions techniques nécessaires à une bonne distribution. Elle procède à d'importants travaux de remise en état qui lui permettront de développer notablement ses fournitures d'énergie.

Les sociétés de propagande, Ap-El, Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage, Société pour le Développement des Véhicules électriques, Société électrique de Travaux agricoles auxquelles s'intéressent la plupart des grandes entreprises de distribution de France, continuent à rendre de nombreux services démontrant de plus en plus leur utilité.

Enfin, les sociétés de fabrication de matériel ou d'installations de réseaux dans lesquelles la société a des participations ont continué à réaliser d'intéressants progrès et à justifier les espoirs qu'elle avait mis en elles.

La Société française des Poteaux électriques a porté son capital à 26 500 000 fr pour acquérir par voie d'apports une importante carrière de chaux à ciment contiguë à son usine de Précy-sur-Oise.

La Société de Force et Lumière électriques (Forclum) a

également réalisé un progrès important de son chiffre d'affaires.

Le capital de la société dont nous nous occupons a été porté en 1929 à 50 millions de francs, mais l'assemblée qui a ratifié cette opération ne s'est tenue que le 9 janvier 1930; le bilan au 31 décembre 1929 ne porte donc pas trace de cette opération.

Une deuxième assemblée extraordinaire tenue à la même date a autorisé le conseil à porter en une ou plusieurs fois, par ses seules délibérations, le capital à 100 millions de francs. Aucune opération n'est actuellement en vue qui rende utile, à bref délai, le recours à cette faculté.

Le produit des intérêts, dividendes et revenus divers encaissés au cours de l'exercice 1929 s'est élevé, frais généraux déduits, à 7 183 958,40 fr.

De ce chiffre il y a lieu de déduire : 5 pour 100 pour la réserve légale, soit 359 197,92 fr, ce qui laisse comme bénéfice disponible 6 824 760,48 fr

Compte tenu du solde reporté à fin 1928, soit 1 million 230 328,97 fr, le solde créditeur du compte de profits et pertes au 31 décembre 1929 s'élève à 8 055 089,45 fr.

Il est prélevé sur ce solde une somme de 4 800 000 fr pour répartir un dividende brut de 40 fr, soit 16 pour 100, à chacune des actions anciennes portant les numéros 1 à 120 000; une somme de 1 481 200 fr pour répartir aux 40 000 actions des numéros 120 001 à 160 000, libérées au cours de l'exercice, un intérêt de 6 pour 100 « prorata temporis » et la totalité du superdividende, soit brut 37,03 fr par action.

Le solde, soit 1 773 889,45 fr, serait reporté à l'exercice en cours.

Dans ces conditions le dividende a été mis en paiement. à dater du 1er juillet 1930, à raison : de 40 fr net par action nominative ancienne 1 à 120 000; de 31,97 fr net par action au porteur ancienne 1 à 120 000; de 37,03 fr net par action nominative nouvelle 120 001 à 160 000; et de 32,31 fr net par action au porteur nouvelle 120 001 à 160 000.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Mobilier	1 »
Comptes courants banquiers	2 360 600 »
Portefeuille	59 821 793,23
Débiteurs divers	4 457 869,43
Caisse	14 802,39
	66 655 066,05

Passif.

	fr
Capital	40 000 000 »
Réserve statutaire	2 280 413,20
Fonds de prévoyance	10 000 000 »
Créditeurs divers	6 261 555,49
Restant à payer sur dividendes des exercices antérieurs	57 937,91
Profits et pertes :	
Bénéfice de l'exercice	6 824 760,48
Solde reporté des exercices antérieurs	1 230 328,97
	65 655 066,05

Société pyrénéenne d'Energie électrique.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 3 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société au capital de 40 446 000 fr et dont le siège social est à Paris, 14, rue Roquépine, nous extrayons les renseignements qui suivent :

La société poursuit plus activement que jamais l'extension de son réseau (1). De nouvelles concessions sont encore en pourparlers ou sur le point d'être approuvées par l'Administration. La construction de la ligne Luzières-Courniou suit son cours. La société établit à Crampagna un poste de transformation et de raccordement où se fera la jonction de son réseau avec les lignes de la Société d'Electricité et Gaz des Pyrénées et de la Société des Forces motrices de l'Ariège.

Depuis la clôture de l'exercice, la société a obtenu : par décret du 6 janvier 1930, une concession de distribution dans tout ou partie des départements de l'Ariège, de l'Aveyron, de l'Aude, du Gers, de la Haute-Garonne, du Lot, du Tarn, de Tarn-et-Garonne; et par décret du 25 janvier 1930, conjointement avec la Société des Forces motrices de l'Agoût, la concession de la chute de Vintrou, sur l'Arn (2). Les travaux pour l'équipement de cette chute vont commencer incessamment. Les dégâts causés aux installations par les inondations qui ont eu lieu dans les premiers jours de mars sont peu importants

Du solde bénéficiaire de l'exercice, soit 6 913 930,90 fr, il faut déduire la réserve légale de 5 pour 100, 345 696,50 fr; à ce reste 6 568 234,40 fr, il convient d'ajouter le report de l'exercice précédent, 341 767,15 fr, d'où un total disponible de 6 910 001,55 fr.

La répartition de cette somme permet de distribuer un dividende de : 75 fr par action A, 33,012 fr par action B, 26,707 fr par dixième de part, sous déduction des impôts et de reporter à nouveau une somme de 139 787,33 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Usines	20 633 829,87
Réseaux et postes	31 074 135,64
Immeubles et terrains	6 520 888 »
Matériel, outillage, mobilier	820 235,59
Caisses	57 545,16
Banques	21 436 395,05
Effets à recevoir	575 719,50
Portefeuille	18 557 780,52
Marchandises	4 009 132,18
Cautionnements	42 613,70
Travaux et marchés en cours	19 494 172,06
Avances à la Société immobilière	13 673 270,14
Avances à l'enregistrement	1 776 901,47
Abonnés	6 051 024,71
Débiteurs divers	2 738 411,22
	147 452 055,41

Passif.

	fr
Capital actions	40 446 000 »
Emprunts	22 916 171,70
Réserve légale	1 440 052,42
Reserve spéciale appartenant aux actionnaires.	2 662 175,60
Amortissement des valeurs immobilisées	26 900 000 »
Provision pour renouvellement de matériel	10 800 000 »
Coupons échus, obligations sorties, bons à rembourser	654 469,79
Intérêts courus sur emprunts	169 836,51
Créditeurs divers	10 766 814,13
Réalisation d'actif et de portefeuille de fondation	23 440 837,22
Report de l'exercice 1928	341 767,15
Solde bénéficiaire de l'exercice 1929	6 913 930,90
	147 452 055,41

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 22 juin 1929, t. XXV, p. 992

(2) Voir *Bulletin R. G. E.*, 1er février 1930, t. XXVII, p. 34 B et 22 février 1930, t. XXVII, p. 58 B.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 26. — 27 DÉCEMBRE 1930.

Chronique. — Nécrologie : Lucien Neu, p. 1017. — Une visite à l'usine génératrice thermique de Vitry-Sud, de l'Union d'Electricité, p. 1018. — Bibliographie : Appareillage électrique haute tension, par Charles BRESSON, p. 1020; Principles of electric power transmission by alternating currents (Principes de la transmission de l'énergie électrique par courants alternatifs), par H. WADDICOR, p. 1020.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (septembre 1930) (*suite et fin*), p. 1021.

Section scientifique et technique. — Le henry et les autres unités magnétiques pratiques, par André BLONDEL, p. 1033. — Revues, analyses et informations : Sur un système d'unités mécaniques, électriques et magnétiques, p. 1037; Les particularités de la décharge électrique dans les gaz rares au point de vue de leur application à l'éclairage, p. 1038; Photomètre photoélectrique à lecture directe pour l'essai des lampes à incandescence, p. 1041.

Section industrielle. — Les postes de transformation de Soisy-sous-Montmorency et de Trie-Château du Nord-Lumière, par H. DAGUERRE, p. 1043. — Revues, analyses et informations : Influence des tensions transitoires sur l'établissemen des transformateurs de puissance, p. 1049.

Section économique et financière. — Importations et exportations françaises pendant les neuf premiers mois de l'année 1930, par J. REYVAL, p. 1051. — Assemblées générales : Compagnie électrique de la Grosne, p. 1063; Société de Construction et de Location d'Appareils de Levage et de Matériel de Travaux publics, p. 1064.

Nécrologie : Lucien Neu. — Nous avons annoncé (1) le décès, survenu le 31 août 1930 à la Baule, de M. Lucien Neu, chevalier de la Légion d'honneur, ancien élève de l'Ecole polytechnique, ingénieur-conseil, et qui était une personnalité bien connue dans le monde des électriciens.

Né en 1866, Lucien Neu, dès sa sortie de l'Ecole polytechnique, en 1887, avait dirigé son activité vers le domaine encore à peine exploré des applications industrielles de l'électricité. Il devait trouver là un vaste champ à défricher où ses facultés de travail et son esprit curieux allaient s'exercer à l'aise.

Comme il se plaisait à le rappeler il fit ses débuts à la Comédie française et en d'autres théâtres parisiens où, en qualité d'ingénieur de la Compagnie Edison, il dirigea les installations d'éclairage et fit établir les premiers jeux d'orgue. Il contribua au succès de l'Exposition universelle de 1889 et il en fut récompensé d'ailleurs en recevant la médaille d'or de collaborateur; il avait alors vingt-trois ans. Un an plus tard il dirigeait la construction de la première usine génératrice d'Athènes et fut chargé par la société à laquelle il était attaché de plusieurs missions dans les pays balkaniques et en Turquie.

En 1893, il ouvre à Lille un cabinet d'ingénieur-conseil et il devient rapidement l'un des principaux animateurs de l'électrification du nord de la France. Il réalise les premières applications de l'électricité dans les mines (machines d'extraction, pompes, locomotives du fond), notamment aux mines d'Anzin et aux mines de Marles. Il construit les premières usines génératrices de Valenciennes, Dunkerque, Cambrai. L'activité de son bureau d'études transféré à Paris s'étend bientôt sur toute la France, puis à l'étranger. Il réalise notamment les installations électriques des mines d'Anderny, d'Albi, de Landres, de la Mourière, de la Grand-Combe, de la Mure, de la Vieille-Montagne, de Corocoro en Bolivie, du Guergour en Kabylie, d'Ekaterinowka, de la Huta-Bankowa en Russie, de la Société industrielle du Caucase, des Forges et Aciéries du Saut-du-Tarn, des Forges et Aciéries du Chili. Il dirige la construction des usines génératrices et réseaux d'Epernay, Châlons, Catane, Tunis, Lisbonne, Porto. L'Espagne lui doit son premier chemin de fer électrique, celui de Gergal à Santa-Fé, à courant triphasé à freinage électrique et récupération. Il accomplit de nombreuses missions d'études et d'expertises en France, Algérie, Espagne, Portugal, Russie, Brésil.

Pendant la guerre, il fait à Verdun les premiers essais de mise sous tension des réseaux de défense et organise avec le concours de la Société des Usines à Gaz du Nord et de l'Est et du Génie militaire toute l'électrification des secteurs de Champagne.

Plus récemment, la Société d'Electricité du Tarn et

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 4 octobre 1930, t. XXVIII, p. 107 B.

la société L'Electricité thermique de l'Orb et de Graissesac lui confient l'étude de leurs usines génératrices et réseaux.

Partout il fait apprécier la clarté et la vivacité de son intelligence, une aptitude remarquable à trouver des solutions immédiates aux cas les plus difficiles, une ardeur au travail qui le fait se dépenser sans compter (et qui l'a vraisemblablement usé prématurément) et plus encore une droiture et un désintéressement qui donnaient à sa qualité de conseil tout son sens et sa dignité.

Mais son inlassable activité ne se bornait pas à l'exercice de sa profession. En 1893 il créait à l'Institut industriel du Nord de la France, à Lille, la chaire d'électricité industrielle qu'il occupa pendant sept ans. Ses anciens élèves ont gardé de cet enseignement vivant une impression ineffaçable. D'ailleurs, tous ceux qui l'ont entendu dans les nombreux congrès et réunions d'ingénieurs où il exposait ses travaux et ses idées, souvent audacieuses, toujours consciencieusement approfondies et passées au crible d'une logique implacable, se souviennent de l'aisance et de la clarté de ses exposés, de la netteté de ses répliques et aussi de ses critiques parfois un peu vives, mais toujours empreintes d'un grand bon sens et tempérées par beaucoup d'humour et de bonhomie.

On lui doit de nombreuses inventions dans les domaines les plus variés, et dont quelques-unes témoignent singulièrement de son esprit précurseur, telles son dispositif de démarrage en charge des moteurs synchrones (1898), ses appareils de protection de lignes à haute tension (1905), l'utilisation des lignes à haute tension pour la transmission des signaux (1905) (1). L'avenir sanctionnera vraisemblablement la plupart de ses idées les plus récentes concernant les isolateurs (2), l'utilisation de la force motrice du vent, les compresseurs multitubulaires, les appareils de mesure des courants à haute tension et bien d'autres encore qu'il a jetées à profusion comme une bonne semence pour de futures moissons, et qui ont été plusieurs fois présentées à nos lecteurs.

Rappelons à ce propos que les dernières idées exposées en public par M. Neu sont, croyons-nous, celles qui ont fait l'objet de deux communications à la Semaine de Discussions de la Société française des Electriciens en octobre 1929 (3).

Modeste autant que travailleur, plus soucieux de son indépendance que des honneurs publics, Lucien Neu, membre de plusieurs sociétés techniques et savantes, se tenait néanmoins à l'écart de toute coterie scientifique ou politique. Le ruban de la Légion d'honneur qui lui fut remis en 1925 était autant une tardive réparation qu'une juste récompense pour les trente-huit années de féconde activité industrielle qu'il comptait alors. Quelques années auparavant, la Société des Ingénieurs civils de France, en lui décernant le prix Couvreux pour ses travaux hydroélectriques en Kabylie, saluait en lui un de ses membres les plus éminents.

Conseiller municipal, adjoint au maire de la petite ville d'Enghien-les-Bains (Seine-et-Oise), qu'il habitait depuis 1916, L. Neu apportait à ses fonctions ses habituelles qualités de dévouement et de conscience, ne ménageant ni sa peine ni son temps pour améliorer les conditions d'existence de ses administrés, les faisant bénéficier de sa longue expérience de tout ce qui concernait les services publics. Il ne put mettre lui-même à exécution un vaste projet d'assainissement du lac d'Enghien et des rus affluents intéressant tout le canton de Montmorency, qu'il avait conçu selon une de ces formules originales et hardies qui lui étaient propres, et auquel il travaillait encore peu de temps avant sa mort, conservant jusqu'au dernier jour toute la vigueur de son intelligence et de sa volonté. — L. S.

Une visite à l'usine génératrice thermique de Vitry-Sud, de l'Union d'Electricité. — En rendant compte dans notre numéro du 6 décembre (1) des diverses manifestations qui se sont déroulées au cours de la septième Semaine de Discussions de la Société française des Electriciens, du 24 au 29 novembre dernier, nous avons signalé, parmi les visites industrielles organisées à cette occasion, celle de la nouvelle usine génératrice thermique de Vitry-Sud, de l'Union d'Electricité. Cette visite qui eut lieu le mardi 25 novembre s'est effectuée sous la direction de M. Ernest Mercier, administrateur-délégué de l'Union d'Electricité et de M. Paul Meunier, directeur général de cette société, assistés de leurs ingénieurs.

Dans une conférence préliminaire, M. Ernest Mercier, après avoir exposé les motifs de la création de l'usine, décrivit ses aménagements et précisa le rôle qu'elle est appelée à jouer dans l'alimentation en énergie électrique de la région parisienne.

En raison de l'importance de cette installation et des particularités qu'elle comporte au point de vue technique, du fait qu'elle répond aux plus récents progrès accomplis dans le domaine de la production thermique de l'énergie électrique, nous croyons utile d'en donner ici une brève description. Ajoutons que, bien que les travaux de montage de certaines parties soient encore en cours d'achèvement, leur état d'avancement permet d'escompter pour le début de l'année 1931 la mise en service du premier groupe turboalternateur.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 18 décembre 1926, t. XX, p. 931-932.

(2) *Revue générale de l'Electricité*, 23 mars 1918, t. III, p. 417 et 7 juillet 1928, t. XXIV, p. 42.

(3) Lucien Neu ; Emploi des machines frigorifiques et des gaz à haute pression dans les centrales électriques et les postes de transformateurs. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, mai 1929, t. IX (4e série), p. 542-552. — L'utilisation rationnelle de la puissance du vent. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, juin 1929 t. IX (4e série), p. 570-574. — Ces deux communications sont analysées dans la *Revue générale de l'Electricité*, 23 novembre 1929, t. XXVI, p. 816 et 817.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 6 décembre 1930, t. XXVIII, p. 881-883.

Située sur la rive gauche de la Seine, à 1 kilomètre environ en aval du nouveau pont de Vitry, l'usine génératrice de Vitry-Sud, prévue pour une puissance de 500 000 kw et dont la première tranche, actuellement en voie d'achèvement, correspond à une puissance de 110 000 kw, est établie sur un terrain d'une superficie d'environ 25 hectares. Ce terrain est traversé par la rue Edith Cavell, orientée du nord au sud et en bordure de laquelle est édifié le bâtiment de la salle des machines dont l'axe est perpendiculaire aux rues de chauffe de la chaufferie.

Le bâtiment de la salle des machines comporte deux parties dont l'une abrite les deux groupes turboalternateurs actuels ; la seconde, formant l'extrémité sud du bâtiment, constitue la salle des pompes et des grilles automatiques, sa partie supérieure étant occupée par la salle centrale de commande et de contrôle de l'usine et divers locaux.

Sur la partie du terrain délimité par la rue Edith Cavell, du côté opposé à la salle des machines et lui faisant vis-à-vis, est aménagé un poste extérieur de sectionnement à 60 000 v. Ce poste est construit d'après le principe de la séparation des phases, c'est-à-dire que l'appareillage et les connexions correspondant à chaque phase d'un groupe générateur sont disposés sur une charpente distincte. Il comporte actuellement huit départs en câbles souterrains à 60 000 v ainsi répartis : deux départs vers le poste de Villejuif ; deux départs vers l'usine de Vitry-Nord ; deux départs vers le poste de Romainville ; deux départs vers le poste d'Essonnes.

La communication entre le poste et le bâtiment de la salle des machines s'effectue par une passerelle couverte à laquelle on accède par un édifice en forme de tour établi sur le terrain du poste et qui, franchissant la rue Edith Cavell, vient aboutir à la salle de contrôle et de commande. C'est dans cette passerelle que sont disposées toutes les canalisations des circuits de commande et de mesure relatifs au poste.

Le bâtiment de l'édifice précité contient les batteries d'accumulateurs des services auxiliaires et leurs groupes de charge.

La liaison électrique entre le poste à 60 000 v et la salle des machines s'effectue par câbles souterrains passant sous la rue Edith Cavell et aboutissant aux enroulements secondaires de groupes de transformateurs élévateurs constitués chacun par trois unités monophasées à refroidissement intérieur par serpentin, d'une puissance unitaire de 25 000 kv-a et dans lesquels débitent directement à la tension de 13 500 v les alternateurs des groupes turbogénérateurs.

De vastes ateliers de réparation, des magasins, des laboratoires, un réfectoire, une salle de conférences, enfin une infirmerie et des maisons pour le logement du personnel occupent les divers bâtiments annexes de l'usine.

L'amenée du charbon à l'usine peut s'effectuer par voie fluviale ou par voie ferrée. A cet effet, une estacade en Seine permet le déchargement des péniches au moyen d'une tour ; le charbon est ensuite acheminé vers un poste central par deux convoyeurs d'un débit de 350 t : h. D'autre part, des dispositifs de déchargement direct des wagons ont été aménagés ainsi qu'un pont roulant à benne preneuse pour la reprise directe du charbon dans les wagons ; deux convoyeurs d'un débit de 350 t : h assurent ensuite le transport du charbon vers le poste central.

Le parc à charbon permet d'entreposer 80 000 t de combustible correspondant à 25 jours de réserve pour la puissance définitive de l'usine.

La chaufferie renferme 6 chaudières du type Ladd Belleville, d'une production horaire de 100 t de vapeur à la marche économique et de 135 t en marche poussée de 12 heures, la pression de la vapeur étant de 34,5 kg : cm² et la température, de 430°C. La surface de chauffe totale de chaque unité est de 3350 m². Ces chaudières, chauffées au charbon pulvérisé, comportent des économiseurs de 1 230 m² alimentés en eau à 135°C et des réchauffeurs d'air de 3 340 m² portant l'air de combustion à la température de 130°C.

L'évacuation des mâchefers s'effectue par procédé hydraulique.

Le dépoussiérage des gaz évacués par les deux cheminées qui surmontent le bâtiment de la chaufferie est assuré au moyen d'appareils à pellicules liquides, système Henrez, absorbant 0,25 litre d'eau par mètre cube de gaz dépoussiéré.

Les groupes turboalternateurs au nombre de deux, dont un en montage, sont disposés perpendiculairement à l'axe de la salle des machines ; un large emplacement ménagé dans cette dernière au niveau du sous-sol a été établi pour recevoir les pièces des groupes en cas de démontage, les manutentions étant assurées par deux ponts roulants dont la force est respectivement de 130 t et de 20 t.

La puissance maximum de chaque groupe turboalternateur est de 55 000 kw, soit 75 000 kv-a ; et leur puissance économique, de 45 000 kw ; la vitesse normale est de 1 500 t : mn.

La turbine comporte trois corps avec quatre prises pour prélèvements de vapeur, la pression d'admission de la vapeur étant de 31 kg : cm² et la température, de 400°C. Cette turbine entraîne un alternateur triphasé de 75 000 kv-a sous la tension de 13 500 v et à la fréquence de 50 p : s, une génératrice auxiliaire à courant continu de 1 000 kw sous 500 v, une excitatrice principale pour l'alternateur et une génératrice auxiliaire assurant l'excitation de l'excitatrice et permettant d'obtenir, lors du réglage de la tension, des variations très rapides du courant d'excitation des alternateurs.

Le refroidissement des alternateurs s'effectue en circuit fermé à travers un réfrigérant parcouru par l'eau condensée.

Il est intéressant de signaler que l'étude des tuyauteries de vapeur des turbines a été exécutée au moyen d'une maquette en bois et en cire.

La condensation est, pour chaque turbine, assurée par deux condenseurs horizontaux d'une surface totale de 2 900 m² susceptibles de condenser 200 t de vapeur à l'heure avec un débit d'eau de 15 000 m³ : h à la température de 15°C.

La vapeur prélevée à la turbine alimente, d'une part, deux bouilleurs évaporateurs capables de distiller, par heure, 6 800 à 10 000 kg d'eau d'appoint, et d'autre part, un dispositif de réchauffage à 140°C et de dégazage de la totalité de l'eau condensée d'un groupe principal et de celle d'un groupe turbodynamo pour les services auxiliaires.

L'eau réchauffée est conduite dans trois bâches de 250 t chacune où puisent les pompes alimentaires de 250 t : h, chacune refoulant aux chaudières à la pression de 46 kg : cm².

L'énergie nécessaire au fonctionnement des services auxiliaires de l'usine est fournie sous forme de courant continu à la tension de 500 v au moyen de deux groupes turbodynamos de 4 000 kw et de deux groupes convertisseurs. Les groupes turbodynamos comprennent chacun une turbine à deux corps, tournant à la vitesse de 3 000 t : mn,

alimentée en vapeur à la pression de 31 kg : cm² et à la température de 400°C. Cette turbine entraîne au moyen d'un réducteur double deux génératrices à courant continu de 2 000 kw, tournant à 600 t : mn.

Chaque groupe convertisseur se compose d'une génératrice à courant continu de 2 000 kw sous 500 v entraînée par un moteur asynchrone à 3 000 v alimenté par des transformateurs à refroidissement naturel disposés extérieurement le long du mur de la salle des machines et alimentés par le réseau à 13 200 v du Sud-Lumière.

Les groupes turbodynamos et les groupes convertisseurs sont installés dans une travée annexe de la salle des machines, desservie par un pont roulant de 35 t. Les canalisations à 500 v et l'appareillage afférents à ces groupes sont situés dans le sous-sol de la salle des machines. Ces canalisations sont en aluminium et l'appareillage de commande est actionné à distance à partir de la salle de contrôle de l'usine.

La salle des pompes renferme les grilles tournantes, système Baudrey et Bergeron, qui assurent la filtration de l'eau de condensation à l'arrivée des galeries d'amenée d'eau. Ces grilles, au nombre de trois actuellement, assurent chacune la filtration du volume d'eau de la Seine correspondant à un débit de 20 000 m³ : h.

Les pompes de circulation d'eau des condenseurs des groupes turboalternateurs, à raison d'une par groupe, fournissent chacune un débit de 17 000 m³ : h, la puissance absorbée étant de 800 ch; celles concernant les groupes turbodynamos ont un débit de 1 800 m³ : h. Enfin le service d'eau de l'usine est assuré par trois pompes de 800 m³ : h, deux pompes de 1 100 m³ : h et une pompe d'incendie de 200 m³ : h. L'ensemble des pompes, quand l'usine fonctionnera à la puissance définitive, assurera un débit de 150 000 m³ : h correspondant à une puissance d'environ 10 000 ch sur les arbres des moteurs. — L. V.

Bibliographie : Appareillage électrique haute tension, par Charles Bresson, ingénieur en chef aux Ateliers de Constructions électriques de Delle (1). — L'étude de l'appareillage électrique s'est pendant longtemps inspirée de règles empiriques dont l'application procurait des résultats répondant suffisamment aux exigences d'installations dans lesquelles les puissances et les tensions mises en jeu demeuraient en deçà de certaines limites. L'insuffisance de ces errements apparut le jour où l'on fut conduit à envisager la création de puissantes usines génératrices reliées par des réseaux étendus et l'utilisation de tensions très élevées. Des phénomènes, dont l'importance était demeurée négligeable, acquirent alors un rôle prépondérant et posèrent aux techniciens de l'appareillage électrique des problèmes nouveaux, notamment au sujet des isolants, des efforts électrodynamiques dus aux courants de courts-circuits, des phénomènes de rupture de l'arc dans l'huile et des conditions d'amorçage des isolateurs. C'est alors que les ingénieurs trouvèrent dans l'électrodynamique et surtout dans l'électrostatique, dont un grand nombre d'expériences et de considérations théoriques étaient demeurées à l'état spéculatif, un outil précieux qui leur a permis, en s'aidant de la pratique acquise, d'étudier les problèmes posés et de donner à la plupart d'entre eux des solutions d'un caractère nettement scientifique. C'est précisément la mise en œuvre des théories classiques de l'électricité appliquées à l'étude de l'appareillage, qui apparaît dès les premiers chapitres de l'intéressant ouvrage de M. Bresson.

Après un rappel des règles de normalisation de matériel, l'auteur étudie en effet les problèmes concernant l'isolement des appareils, leur échauffement, les phénomènes de décharge par arc, les phénomènes thermiques et électrodynamiques dont l'appareillage électrique est le siège sous l'influence des courants de court-circuit et les effets des surtensions.

Les principes et les détails de construction des appareils de coupure et de protection, sectionneurs, disjoncteurs dans l'huile, coupe-circuit, bobines d'inductance, parafoudres, etc., sont largement développés dans plusieurs chapitres. En outre, de nombreux renseignements sont indiqués relativement aux postes de transformation et de sectionnement tant intérieurs qu'extérieurs.

La question des installations automates et de l'appareillage de protection des réseaux contre les surintensités de courant et les surtensions font l'objet d'importants développements formant la matière d'une centaine de pages de l'ouvrage. Enfin les nombreuses formules données par l'auteur sont toujours accompagnées d'exemples numériques et de données pratiques.

En raison de la documentation très complète qu'il contient, cet ouvrage rendra les plus grands services aux ingénieurs des services d'exploitation des sociétés de production et de distribution d'énergie, aux constructeurs d'appareillage électrique et aux élèves ingénieurs appelés à exécuter des projets d'installations électriques. — L. V.

(1) Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 460 pages, avec 379 figures dans le texte, édité par la librairie Dunod, 92, rue Bonaparte, à Paris (6e). Prix : broché, 108 fr; relié, 118 fr.

Bibliographie : Principles of electric power transmission by alternating currents (Principes de la transmission de l'énergie électrique par courants alternatifs), par H. Waddicor (1). — Cet ouvrage, qui paraît en deuxième édition, a pour objet l'exposé des connaissances classiques relatives à l'établissement des lignes de transmission d'énergie électrique. La matière en est répartie en quatorze chapitres. Les deux premiers sont consacrés aux principes, tant au point de vue économique qu'électrique, sur lesquels est basé le calcul des lignes, ainsi qu'à la définition de leurs caractéristiques. Trois autres chapitres où l'auteur traite successivement des lignes de faible et de grande longueurs, terminent cette première partie, réservée aux conceptions théoriques.

Dans la seconde partie, consacrée aux réalisations, l'auteur traite d'abord des propriétés des différents métaux qui peuvent être utilisés comme conducteurs et des divers organes de supports, puis de l'isolement des lignes et du facteur de puissance. Après une étude sur les câbles souterrains et les questions que suscitent leur calcul et leur fabrication, l'auteur s'occupe des facteurs dont on tient principalement compte dans l'établissement des lignes de transmission, tels que ceux qui déterminent le choix de la tension et de la fréquence, par exemple.

La dernière partie est consacrée aux divers dispositifs et organes de protection contre les surintensités de courant et les surtensions. Cet ouvrage sera consulté avec profit par les techniciens chargés de l'étude ou de l'exploitation des lignes de transmission et de distribution d'énergie électrique. Les élèves des écoles techniques y trouveront également des éléments utiles à la rédaction de leurs projets. — R. G.

(1) Un volume, format 22 cm × 14 5 cm, de 419 pages, avec 155 figures dans le texte, édité par la librairie Chapman and Hall, 11, Henrietta street, Covent Garden, à Londres (W. C. 2). Prix : relié, 21 shillings.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique (Septembre 1930) (*Suite et fin*) (*)

XI. Accidents causés par l'électricité

Les deux rapports présentés dans cette section, l'un par M. Lohr, rapporteur général de la Commission pour la Tension non dangereuse, le second, par M. Féraud, concernent plus particulièrement la détermination de la tension minimum au-dessous de laquelle les courants à fréquence industrielle ne peuvent causer d'accidents mortels, même dans les conditions les plus défavorables.

I. **Tension non dangereuse.** Rapport général de H. Lohr, au nom de la Commission pour la Tension non dangereuse. — Dans l'exposé de ce rapport de onze pages de texte, M. H. Lohr rappelle que dans une notice provisoire, distribuée aux membres de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, il avait déjà mentionné les principales conclusions auxquelles est arrivé le Service d'Inspection du Travail aux Pays-Bas. Il en résulte que le danger est déterminé non seulement par la valeur de la tension, mais aussi, et même surtout, par l'intensité du courant qui traverse le corps humain. Il semble que les intensités de courant jusqu'à 25 milliampères sont inoffensives, mais qu'à partir de cette dernière valeur le danger augmente rapidement et qu'il est généralement mortel pour une intensité de courant de 100 milliampères.

On peut distinguer trois sortes de lésions : des dérangements de nombreuses fonctions organiques peuvent se produire immédiatement après le contact, soit les jours suivants, soit même après des semaines ou des mois. Dans ce dernier cas, il s'agit généralement de lésions du système nerveux ou des vaisseaux sanguins.

En 1897 déjà, le professeur Weber a fait des expériences pour déterminer la valeur de la résistance entre les deux mains et l'influence de l'intensité du courant sur l'organisme. Il trouva que lorsque la tension augmente, la résistance diminue notablement; ainsi, pour une augmentation de la tension de 50 à 80 v, la résistance des deux mains en série, à l'état sec, diminue de 500 000 ohms jusqu'à 8000 ohms. Par suite, le courant correspondant augmente de 0,1 milliampère à 10 milliampères, donc beaucoup plus vite que la tension. Des expériences semblables ont été entreprises, dans ces dernières années, par le service d'électricité du canton de Zurich, afin de déterminer autant que possible l'influence des différents facteurs, tels que la tension, le degré d'humidité de la peau, la surface de contact, etc. La plupart de ces épreuves se rapportaient au courant alternatif de 50 p:s. Il va sans dire que, comme tension limite, on devait adopter une valeur pour laquelle il n'y aurait encore aucun danger.

Les corps des personnes examinées avaient des résistances électriques très différentes; par contre, les sensations éprouvées étaient à peu près les mêmes pour la même intensité de courant, ce qui indique que ce dernier facteur aurait probablement l'influence prépondérante, comme cela avait déjà été conclu des données statistiques. Les résultats des expériences montrent que la résistance du corps est concentrée à peu près exclusivement dans la peau.

On a également procédé à des expériences à l'aide de courant continu; celui-ci a un effet de choc et il ne peut pas être supporté longtemps.

En résumé, les expériences mentionnées montrèrent que la résistance de la peau intacte peut diminuer jusqu'à 2000 ohms à l'état sec et 1500 ohms à l'état humide. Or, pour une intensité de courant de 15 milliampères, il n'est généralement plus possible de lâcher les électrodes; la tension dangereuse devrait donc être évaluée à 30 v ou à 22,5 v, suivant que la peau est sèche ou humide. Ces valeurs se rapportent au passage du courant entre les deux mains; pour une personne immergée dans une baignoire et touchant de la main un objet sous tension, la résistance serait encore réduite environ de moitié, de sorte qu'une tension de 11 v serait déjà dangereuse.

Il va sans dire que la loi d'Ohm n'est valable pour la peau humaine que pour autant que celle ci ne soit pas entamée par des phénomènes accessoires, comme par exemple des brûlures, qui se produisent pour une densité de courant de 15 mA:mm².

La Commission pour la Tension non dangereuse s'est chargée d'une enquête concernant l'état de choses existant à ce sujet dans les différents pays. Dans ce but, elle a adressé un questionnaire aux sociétés de distribution d'énergie électrique des nations affiliées à l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique et aussi à quelques autres.

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 22, 29 novembre et 6, 13 et 20 décembre 1930, t. XXVIII, p. 803-812, 843-850, 885-894, 923-932 et 971-984.

Sur les vingt-six groupements nationaux consultés, dix-huit ont répondu au questionnaire. Quatre des états dont les groupements ont répondu n'ont pas encore de prescriptions dans ce domaine, tandis que quatre autres emploient les prescriptions allemandes, du Verband deutscher Elektrotechniker. Dans les dix autres pays, les tensions prescrites varient entre 24 et 120 V, ce qui provient en partie des différences entre les locaux en question et les modes d'emploi. Les prescriptions sont en revision ou en préparation dans cinq de ces pays, savoir: en Autriche, au Danemark, en Espagne, aux Pays-Bas et en Suède. Il est curieux d'observer que dans plusieurs pays on admet une tension plus élevée en courant continu qu'en courant alternatif, tandis que, suivant les expériences du Service d'Electricité du canton de Zurich, ce serait précisément le courant continu qui serait le plus dangereux

Enfin, parmi les dix pays ayant des prescriptions, huit ont des stipulations concernant le mode d'abaissement de la tension.

II. **Sur la tension non dangereuse des courants électriques**. Rapport de L. Féraud, administrateur délégué de l'Electricité du Nord-Est parisien. — Dans ce rapport de neuf pages de texte, l'auteur signale l'ambiguïté des désignations actuelles par tension dangereuse et tension non dangereuse qui ne répondent pas à la réalité. Le public, dont l'attention, en vertu des règlements administratifs, est attirée par une publicité envahissante sur le danger des courants de deuxième et de troisième catégorie, en a conclu que les autres, c'est-à-dire les courants de première catégorie, étaient inoffensifs.

1. Définition qualitative de la tension non dangereuse. — Le rapporteur croit nécessaire pour cette définition générale d'éliminer le cas des salles de bains. Il y a lieu pour ce cas de prendre des mesures tout à fait spéciales qui font l'objet de prescriptions particulièrement rigoureuses. La tension non dangereuse serait définie comme celle qui ne peut entraîner la mort en aucune circonstance de la vie domestique et industrielle courante.

2. Influence des caractéristiques de la source sur le danger des courants électriques. — Il est permis de supposer qu'au point de vue du danger de mort proprement dit, les courants alternatifs pour une même intensité et une même tension paraissent plus dangereux que les courants continus, tandis que les effets permanents des courants continus sont probablement plus pernicieux que ceux des courants alternatifs.

Si la tension n'a pas toujours un rôle prépondérant, elle n'en est pas moins, dans certaines circonstances, un facteur important du danger. D'autre part, si le danger du courant est fonction de la tension appliquée, il dépend surtout de la valeur de l'intensité du courant qui traverse la victime.

Il est difficile de déterminer l'influence de la fréquence sur le danger des courants électriques. On admet généralement que la fréquence la plus dangereuse est celle des courants industriels.

3. Influence des circonstances étrangères a la source sur le danger des courants électriques. — Le danger dépend de facteurs extérieurs qu'on peut énumérer comme il suit : la durée du contact, la nature du contact, la résistance de l'épiderme, la résistance du corps entre les deux contacts, le trajet du courant à travers le corps, l'état physique et psychique du sujet.

4. Résistance du corps humain. — La résistance du corps humain se compose des résistances de l'épiderme aux contacts et de la résistérance intérieure du corps. Le facteur qui influe le plus sur la résistivité de l'épiderme est l'humidité.

D'après le docteur Jellinek, la résistance totale du corps humain atteint 40 000 ohms et même 100 000 ohms, et plus, entre les paumes des deux mains d'un ouvrier, tandis que dans les mêmes conditions, entre les mains d'un homme de bureau ou d'une femme, elle n'atteint que 5 000 ohms et même moins. Si l'on fait abstraction des résistances de contact de la peau. la résistance propre du corps humain paraît être voisine de 1 000 ohms ou un peu inférieure.

Schiesser a obtenu les résultats suivants : de main à main de 4 000 à 6 000 ohms suivant l'état de la peau ; entre les deux mains et les deux pieds (peau humide) 1 800 ohms ; de pied à pied (peau sèche) 2 300 ohms.

La gravité des effets du courant dépend beaucoup du circuit parcouru dans le corps. Un autre facteur important du danger est l'état psychique de la victime. La surprise augmente le danger. Quand le cerveau est engourdi par le sommeil les effets sont moins graves. Il en est de même en cas d'ivresse.

5. Intensité de courant dangereuse. — Il semble qu'on puisse adopter 50 milliampères comme limite de l'intensité de courant dangereuse. En réalité, la notion d'intensité de courant est encore insuffisante pour donner la mesure du danger. Il faut la compléter par celle de densité de courant. Les fortes densités de courant provoquent, en effet, une élévation de température et, comme conséquence, une diminution de la résistance, facteurs qui interviennent directement pour augmenter le danger des courants.

6. Définition quantitative de la tension non dangereuse. — Dans les circonstances les plus défavorables, la résistance du corps humain est d'environ 800 ohms. En admettant une intensité de courant dangereuse de 50 milliampères, la tension dangereuse serait, dans ce cas extrême, de 40 V.

Il semble donc qu'en pratique, et en exceptant le cas des salles de bains et de quelques cas analogues, on puisse, sans se départir des règles de la prudence, ni faire preuve d'un formalisme exagéré, admettre la ten-

sion efficace de 30 v comme limite supérieure de la tension non dangereuse.

7. Conclusions. — Les effets physiologiques de l'électricité se manifestent sous forme d'effet nerveux, d'effet d'électrolyse, d'effet calorifique. Chacun de ces effets dépend de nombreux facteurs qui réagissent l'un sur l'autre. Il semble toutefois résulter de l'analyse faite dans ce rapport que le danger des courants dépend surtout de la densité du courant qui parcourt le corps de la victime et du trajet du courant à travers le corps. Le rapporteur termine en formulant le vœu qu'il soit tenu une statistique détaillée des accidents survenus à des tensions inférieures à 115 v. Enfin, il estime désirable que les expériences sur des animaux effectuées pardes médecins à des tensions de 115 v soient reprises à des tensions efficaces de 30 à 50 v et qu'elles soient complétées dans la zone non dangereuse par des expériences sur l'homme. — R. L.

III. **Discussion**. — M. Féraud (France) qui fait partie, comme MM. Lohr et Abrezol, de la Commission de la Tension non dangereuse insiste sur la façon dont la question a été et doit être posée.

La tension non dangereuse que l'on a entendu viser en créant cette commission n'est pas celle qui, en aucune circonstance, ne peut entraîner la mort. C'est la tension qui, dans les circonstances ordinaires de la vie courante, ne peut pas entraîner la mort. Il semble qu'elle soit d'un ordre de grandeur se rapprochant de 30, 35 ou 40 v. Les travaux de la commission ont pour but de rechercher à quelle tension voisine de cet ordre de grandeur il y aurait lieu de transformer le courant mis à la disposition des consommateurs pour certains usages.

M. Uytborck signale l'intérêt tout particulier qu'il y aurait à fixer internationalement cette tension réduite, de façon que les fabricants d'appareils, notamment d'appareils domestiques, soient amenés à construire du matériel à cette tension. M. Calmettes (France) développe des considérations intéressantes sur les avantages et les inconvénients respectifs de l'adoption de la tension de 110 ou de 220 v en courant alternatif comme tension de distribution. Il est personnellement hostile au choix de la tension de 220 v. M. Meyer exprime un avis diamétralement opposé. Le président, le délégué général et le Congrès tout entier estiment que cette question est étrangère au sujet présentement traité et qu'elle ne figure pas actuellement à l'ordre du jour.

M. le président Niesz précise qu'il est bien entendu que les tension industrielles, les tensions habituelles de distribution peuvent toutes être dangereuses si les installations intérieures et l'appareillage sont défectueux et qu'il y a lieu de surveiller pour toutes ces tensions l'exécution des installations intérieures et d'exiger l'application rigoureuse des prescriptions édictées dans les différents pays. M. Brylinski insiste également sur le fait que la tension réduite que l'on cherche à déterminer internationalement, et qui sera vraisemblablement de l'ordre de 30 v, n'est pas une tension pouvant être considérée comme non dangereuse dans n'importe quel cas ; il signale notamment qu'il faut écarter complètement de la question le cas particulier des salles de bain, nécessitant des précautions tout à fait spéciales. M. Féraud propose de définir la tension réduite de la façon suivante : cette tension doit être déterminée de telle sorte qu'un ouvrier faisant un nettoyage de chaudière ou travaillant dans une fosse de tramways ou de chemins de fer ou encore un homme se trouvant dans une cave un peu humide avec une lampe baladeuse ne puisse pas être électrocuté.

M. Abrezol donne des renseignements sur des expériences faites à Zurich sur vingt-cinq personnes et qui ont montré que les résultats sont complètement différents suivant les sujets éprouvés, la résistance de la peau des uns et des autres variant dans des proportions considérables. On a nommé en Suisse une commission médicale qui dispose d'un crédit assez élevé pour poursuivre les expériences. Il pourrait donc être intéressant d'attendre les résultats de ces expériences et des essais complémentaires auxquels ladite commission procédera pour fixer la tension réduite que la commission compétente de l'Union internationale a pour but de déterminer. M. Niesz se rallie à cette proposition.

M. Uytborck insiste sur l'intérêt qu'il y aurait à fixer une tension réduite qui permettrait aux fabricants d'appareils domestiques de mettre sur le marché un matériel construit à cette tension. M. Meyer indique qu'il ne faut pas oublier, au point de vue des applications domestiques de l'électricité, qu'un élément de sécurité essentiel réside dans une bonne mise à la terre de l'installation. MM. Scoumanne et Brylinski appuient ce point de vue et insistent très énergiquement sur l'importance des bonnes installations et de la lutte qu'il faut poursuivre contre le mauvais appareillage. Ce sont là des conditions essentielles pour permettre le développement de l'emploi des appareils domestiques sur les réseaux de distribution à 110 ou 220 v. M. List (Tchécoslovaquie) intervient également dans le même sens en donnant quelques indications sur les prescriptions établies en Tchécoslovaquie. M. Cesari donne des renseignements analogues pour l'Italie. M. Dehoux (Belgique) donne quelques renseignements sur la manière dont est réalisée en Belgique la mise à la terre des installations. M. Rich donne quelques renseignements sur la façon dont se pose la même question en Angleterre, au Danemark et aux Etats-Unis. M. le président Niesz parle des marques de qualité adoptées en Suisse, comme d'ailleurs dans un certain nombre d'autres pays.

Le Congrès décide qu'il y a lieu pour la Commission pour la Tension non dangereuse présidée par M. Lohr de poursuivre ses études en s'inspirant notamment des résultats des travaux de la commission suisse dont il a été question et d'établir, dès que cela lui paraîtra possible, une liste de tensions réduites inférieures à 100 v qui pourraient être ultérieurement normalisées. — R. L.

XII. Tarification de l'énergie

Cinq rapports ont été présentés sur cette question : dans le rapport général sont développées des considérations sur les principes sur lesquels doivent être basées les formules de tarification, considérations accompagnées de données sur les modes de tarification appliqués dans les divers pays, tandis que les autres rapports traitent de questions particulières dictées par des problèmes présentant telles conditions bien définies d'exploitation; ainsi l'exemple envisagé dans le rapport de M. H. Melzer est emprunté à l'exploitation des réseaux de distribution de Prague; M. Fracanzani considère les résultats qu'a donnés la tarification de l'énergie réactive sur les réseaux de la Società adriatica di Elettricità; M. Altenberg traite de la tarification en Pologne et M. Chaudoir, de la tarification en Belgique.

I. **Le problème de la tarification de l'énergie électrique**. Rapport général de l'Institut national roumain pour l'Etude de l'Aménagement et de l'Utilisation des Sources d'Energie. — Ce rapport comporte quarante-cinq pages de texte avec huit figures dans le texte, et, à la fin, un tableau occupant dix pages dans lequel sont consignés les systèmes de tarification en vigueur dans les divers pays, avec des précisions sur la clause relative à la tarification de l'énergie réactive.

Dans le rapport proprement dit sont exposées des considérations sur les divers éléments qui interviennent dans l'étude d'un mode de tarification, sur les tendances observées dans les diverses formules adoptées aujourd'hui et sur le programme à suivre dans la politique de la tarification de l'énergie électrique. Ce sont ces trois points que nous nous proposons de résumer ici.

1. Considérations générales. — Les facteurs à considérer dans le problème de la tarification sont d'ordres très divers. Ce sont d'abord des considérations techniques (rendement des installations, facteur de charge, facteur de diversité, etc.), économiques (prix de revient) et commerciales (d'où des différences de tarif pour l'éclairage et pour la force motrice). A ces considérations s'ajoutent celles d'ordre psychologique, qui conduisent à l'adoption d'une tarification simple.

Cette énumération sommaire des éléments qui sont à envisager dans l'établissement d'une formule de tarification montre la complexité du problème; il ne suffit pas de prendre comme critérium de tarification la quantité d'énergie absorbée, ainsi qu'on pourrait le croire dans un examen rapide de la question ; il faut tenir compte d'un certain nombre de variables dont dépend le prix de revient de l'énergie vendue; c'est l'étude de la relation entre ces variables et la quantité d'énergie absorbée qui constitue précisément le problème de la tarification, problème dont les solutions sont très différentes suivant l'importance relative donnée à chacune des variables envisagées.

2. Considérations sur la situation actuelle de la tarification. — 1° *Classification des modes de tarification.* — Les modes de tarification qui peuvent être adoptés sont classés de la façon suivante : la *tarification à forfait*, qui se distingue essentiellement par sa simplicité et qui peut être appliquée si les frais de production d'énergie proportionnels à l'énergie sont négligeables; la *tarification monôme*, dans laquelle le seul critérium de tarification est l'énergie absorbée par l'installation de l'abonné ; la *tarfication monôme complétée par des clauses dégressives*, comme la précédente, mais faisant intervenir soit la quantité d'énergie totale absorbée, soit le facteur d'utilisation de la puissance installée ; la *tarification binôme* qui met en jeu deux éléments, l'énergie absorbée et la puissance absorbée ; la *tarification polynôme* faisant intervenir plus de deux éléments ; la *tarification multiple* permettant de tenir compte de la répartition de la charge de l'installation dans la journée, les modes de tarification dans chacune des formules dont l'ensemble forme la tarification multiple pouvant être monômes, binômes, etc. ; les *tarifications combinées* résultant de l'application simultanée de divers modes de tarification. tels que la tarification binôme à clauses dégressives. A ces tarifications s'ajoute la clause de la puissance réactive tenant compte du facteur de puissance de l'installation.

2° *Enquête entreprise auprès des distributeurs.* — Les solutions adoptées dans divers pays sont résumées, comme nous l'avons dit plus haut, dans un tableau de dix pages à la fin du rapport et, de plus, dans le texte même du rapport où sont reproduits les comptes rendus des réponses reçues des organismes intéressés de divers pays (Belgique, France, Italie, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Roumanie, Suisse, Tchécoslovaquie). Nous ne pouvons reproduire ici ces réponses, dont quelques-unes font d'ailleurs l'objet de rapports présentés au Congrès qui nous occupe ; ils sont d'ailleurs résumés plus loin ; nous nous bornerons donc à donner un extrait de la réponse, relative à la France, du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique.

« Une importante évolution est intervenue dernièrement dans les systèmes de tarification utilisés en France. Tout d'abord dans un nouveau cahier des charges type on a prévu la possibilité d'adopter des tarifs différents, suivant la tension, la puissance, la durée d'utilisation, la nature de l'utilisation, l'horaire, les saisons, etc., ce qui représente une importante amélioration par rapport aux anciens cahiers des charges qui ne permettaient que des tarifs pour « éclairage » et « autres usages que l'éclairage ».

» La formule monôme s'est énormément perfectionnée par l'adjonction des tranches décroissantes, ce qui a permis aussi, très facilemeut, la création d'une tarification monôme pour usages domestiques.

» La formule binôme s'est généralisée aux branchements sur la haute tension qui l'emploient presque exclusivement. En basse tension on continue à éprouver une grande difficulté à convaincre les abonnés de l'accepter. La formule binôme en basse tension est remplacée d'une façon suffisamment satisfaisante, comme nous venons de le voir, par le système monôme à tranches décroissantes. Pourtant, même en basse tension, la formule binôme est utilisée pour les applications rurales et domestiques.

» Les tarifs multiples se sont beaucoup développés dernièrement; nous mentionnerons le système à triple tarif introduit depuis quelque temps à Paris par la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité.

» La clause de la puissance réactive a été introduite officiellement par les circulaires ministérielles de 1919 à 1920. On utilise jusqu'à présent trois formules :

» D'après la *formule de l'énergie complexe* on ajoute à l'énergie active 30 pour 100 de l'énergie réactive, ce qui revient à faire payer l'énergie réactive à un tarif de 30 pour 100 de celui de l'énergie active. Dernièrement, s'est manifestée la tendance de diminuer ce coefficient de 30 à 20 pour 100.

» Par la *formule du déphasage* $1 + \frac{2}{100} n$, le prix de l'énergie réelle est majoré de 2 pour 100 pour chaque centième de la différence entre 0,8 et la valeur du facteur de puissance, au-dessous de cette valeur.

» D'après la *formule du déphasage* $\frac{0,8}{\cos \varphi}$, on établit le tarif à appliquer en multipliant le tarif de base par le facteur $\frac{0,8}{\cos \varphi}$.

» Un « index économique » fut institué en 1919 pour les usines génératrices thermiques, et en 1920 pour les usines génératrices hydrauliques. Cet index est calculé en ajoutant au prix de la tonne de houille un nombre N, en fonction de la main-d'œuvre. L'index est publié périodiquement par le Ministère des Travaux publics. Les formules de tarification introduisent généralement des normes de variations automatiques en fonction de cet index économique. » |

3° *Conclusion.* — De l'examen des diverses réponses reçues on peut conclure qu'il y a une tendance marquée vers une tarification de l'énergie électrique tenant compte le plus possible de tous les éléments mentionnés plus haut, ce qui conduit, ainsi que nous l'avons laissé entendre, à des formules plus ou moins compliquées. La tarification à forfait est encore très répandue là où l'énergie est d'origine hydraulique; les systèmes à formule binôme ou même trinôme remplacent de plus en plus le système à formule monôme, surtout dans les installations de puissance élevée et à haute tension. Les clauses dégressives se répandent également, ainsi que celle de l'énergie réactive.

3. PROGRAMME A SUIVRE DANS LA POLITIQUE DE TARIFICATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE. — 1° *Considérations théoriques* — Il ne suffit plus aujourd'hui que la tarification soit établie pour que le producteur ou le distributeur d'énergie électrique retrouve le remboursement de ses dépenses avec un bénéfice raisonnable ; elle doit être basée sur un principe tel qu'il en résulte une amélioration de l'utilisation de la puissance installée et une plus grande uniformité dans la répartition de la charge dans le temps ; de plus, la tarification doit favoriser le développement des applications de l'électricité et assurer une égale répartition des dépenses entre tous les abonnés. Pour satisfaire à ces conditions variées, on est amené à sacrifier la simplicité, et à adopter, par exemple, une tarification multiple, chaque tarification du système correspondant à une application spéciale de l'électricité.

Si l'on se place à un point de vue théorique, la formule de tarification à laquelle on aboutit est la suivante :

$$C = k_1 + k_2 P_a + k_3 P_m + k_4 W + k_5 W_r, \qquad (1)$$

où C est la somme totale que doit payer un abonné pour l'énergie absorbée W par son installation pendant un temps donné, un an, par exemple; les coefficients k_1 à k_5 correspondent respectivement chacun à une catégorie de dépenses relatives respectivement à la puissance raccordée P_a; à la puissance maximum absorbée P_m; à l'énergie réactive absorbée W_r pendant le même temps que l'énergie active W. D'autre part, les dépenses, toujours pour la même période, un an, par exemple, sont les dépenses D_b fonction de la puissance; celles D_{b1} correspondant à la puissance raccordée et représentant les dépenses non réparties uniformément entre tous les abonnés; celles D_{b2} correspondant à la puissance maximum absorbée par l'installation de l'abonné; les dépenses D_a fonction de l'énergie; les dépenses D_{c1} représentant celles du service spécial d'abonnés et réparties uniformément entre tous les abonnés; les dépenses D_{c2}, comme les précédentes, mais non réparties uniformément entre les abonnés ; les dépenses spéciales D_d, afférentes, par exemple, à l'énergie réactive. Dans ces conditions, les coefficients k_1 à k_5 sont définis comme il suit, en désignant par n le nombre d'abonnés et en supposant une seule catégorie d'abonnés

$$k_1 = \frac{D_{c1}}{n}, \quad k_2 = \frac{D_{b1} + D_{c2}}{\Sigma P_a}, \quad k_3 = \frac{D_{b2}}{\Sigma P_m},$$

$$k_4 = \frac{D_a}{\Sigma W}, \quad k_5 = \frac{D_r}{\Sigma W_d}.$$

Presque tous les modes de tarification adoptés en pratique sont, au fond, des cas particuliers de la forme générale de tarification qui vient d'être définie. En reportant toute la valeur de la tarification sur la puissance seulement et sous la forme la plus générale (puissance raccordée, puissance maximum, etc.), c'est-

à-dire en faisant dans la formule (1) k_4 et k_5 égaux à zéro, nous obtenons le cas particulier de la tarification à forfait.

La tarification monôme rapportée à l'énergie implique, par contre, dans la même formule générale de tarification k_1, k_2, k_3 égaux à zéro. La tarification binôme est aussi un cas particulier de la tarification générale, caractérisée par une des trois hypothèses :

$k_1 = 0$, $k_3 = 0$ (tarification : puissance raccordée + énergie);

$k_1 = 0$, $k_2 = 0$ (tarification : puissance maximum + énergie);

$k_2 = 0$, $k_3 = 0$ (tarification : taxe fixe + énergie).

Nous rappelons que ce système est aussi connu sous la dénomination de « tarif Hopkinson ». La même tarification peut être présentée sous la forme d'un tarif monôme dégressif, en fonction de la durée d'utilisation de la puissance raccordée. C'est une manière de présenter la tarification binôme sous une forme plus acceptable pour les abonnés. C'est le système connu aussi sous le nom de « système Wright ».

La tarification trinôme est caractérisée par des conditions particulières dans les trois hypothèses suivantes :

$k_1 = 0$ (tarification : puissance raccordée, puissance maximum absorbée et énergie).

$k_2 = 0$ (tarification : taxe, puissance maximum et énergie).

$k_3 = 0$ (tarification : taxe, puissance raccordée et énergie).

La tarification quadrinôme implique la conservation de tous les termes k_1, k_2, k_3, k_4. Ce système est assez rarement utilisé.

Il n'est pas tenu compte, dans cette adaptation de la formule générale aux cas particuliers, du coefficient k_5 relatif à l'énergie réactive, la tarification de celle-ci faisant l'objet d'une étude spéciale dans le rapport dont nous extrayons les conclusions suivantes: La formule de tarification totale peut s'écrire

$$C = aW + bW_r,$$

a étant le prix de l'unité d'énergie active, b, celui de l'unité d'énergie réactive, W et W_r représentant respectivement les quantités d'énergie active et réactive conduisant au prix global C; or, il y a intérêt à mettre en évidence le rapport α de b à a, soit $b = \alpha a$. Ce rapport α est très variable avec l'importance des préjudices attribués à la puissance réactive; on trouve dans le rapport un tableau dans lequel sont indiquées les valeurs de α correspondant aux diverses catégories de ces préjudices ; nous retiendrons de cet examen que la valeur moyenne de α a été admise officiellement égale à 0,3 dans certains pays et qu'on tend à la réduire à 0,2 et même 0,15. Il paraîtrait logique d'adopter 0,2 pour des réseaux dont le facteur de puissance est compris entre 1 et 0,8 environ et une valeur comprise entre 0,25 et 0,30 si le facteur de puissance est inférieur à 0,8.

2° *Considérations commerciales.* — Si l'on considère le problème de la tarification au point de vue commercial, il faut, pour établir la valeur moyenne du tarif, connaître deux courbes, celle donnant la variation de l'énergie vendue m dans un temps donné en fonction du tarif de vente t et celle de la valeur totale du prix de revient d en fonction de la quantité d'énergie m ; on peut remplacer cette dernière, en tenant compte de la première, par une courbe qui donne la variation de d en fonction, non plus de m, mais de t. On a donc deux caractéristiques $m = f(t)$ et $d = \varphi(t)$; les bénéfices B sont, en désignant par R les recettes brutes,

$$B = R - d = tm - d = \psi(t);$$

la connaissance des courbes m et d permet de construire la courbe $\psi(t)$ de laquelle on déduit le tarif t qui conduit au maximum de R ou de B. Dans le rapport qui nous occupe sont mentionnées des études relativement récentes qui donnent des renseignements utiles à l'établissement de ces caractéristiques (1).

4. Conclusion. — Que peut-on espérer d'un système de tarification? telle est la question qui résume le problème traité dans ce rapport dont voici la conclusion:

« Dans tous les pays où l'emploi de l'électricité s'est développé au-dessus du niveau moyen, le problème de la tarification a évolué en concordance avec ce développement et nous oserions même affirmer qu'il y a contribué dans une très large mesure. D'une manière générale, ce problème, bien mis au point, permet d'obtenir le maximum du rendement économique que l'on peut espérer, dans une situation donnée, en tenant compte des autres conditions. »

II. **Méthode graphique de représentation et de comparaison de divers tarifs de vente de l'énergie électrique, basés sur le caractère de la consommation avec égard spécial aux tarifs des entreprises électriques de Prague.** Rapport de H. Melzer, ingénieur des Elektrické Podniky hlavniho Mesta Prahy. — Dans ce rapport, de onze pages de texte avec huit figures dans le texte, sont exposés le principe et l'application d'une construction graphique permettant de comparer entre eux divers tarifs et de choisir celui qui convient dans le cas envisagé. La formule générale de tarification que considère l'auteur,

$$z = c_1 x + c_2 y + c'_2 y' + c''_2 y'' + \ldots + c_3,$$

(1) Norberg Schulz; Elektrizitätsverbrauch und Elektrizitätspreise. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 31 octobre 1929, t. LI, p. 1579-1580.

J.-Rutherford Blaikie. *The Electrician*, 22 octobre 1926, t. XCVII, p. 470-471 et 476; résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 8 janvier 1927, t. XXI, p. 14 D.

où z représente le montant de la somme due par l'abonné pour une période donnée ; c_1, le tarif fixe, annuel, par exemple, rapporté à l'unité de puissance installée ou, éventuellement, maximum enregistrée ; c_2, c'_2, c''_2,... les prix de l'unité d'énergie correspondant chacun à un des tarifs dans le cas d'une tarification multiple ; x, la puissance installée, ou, éventuellement, maximum ; y, y', y''..., les quantités d'énergie absorbée pour des tarifs différents c_2, c'_2, c''_2... ; c_3, le prix de location du compteur et de ses accessoires. L'auteur considère le cas de la tarification simple d'où $c'_2 = c''_2 = .. = 0$ et

$$z = c_1 x + c_2 y + c_3 ;$$

pour d'autres tarifs définis par C_1, C_2, C_3 correspondant respectivement à c_1, c_2, c_3 on aura

$$Z = C_1 x + C_2 y + C_3,$$

et l'on se propose de comparer les deux formules ; il faut que

$$c_1 x + c_2 y + c_3 = C_1 x + C_2 y + C_3,$$

ce qui peut être simplifié encore si l'on tient compte de ce que la différence entre les frais de location c_3 et C_3 des compteurs est en général pratiquement négligeable d'où

$$c_1 x + c_2 y = C_1 x + C_2 y.$$

Le procédé graphique facilitant la comparaison des coefficients c_1 et C_1, c_2 et C_2 consiste à construire des droites rapportées à deux axes rectangulaires. En ordonnées sont portés les prix à payer correspondant à chacun des termes de l'équation ; sur l'axe des abscisses, à droite de l'axe des ordonnées, les quantités d'énergie y, et à gauche, les puissances x. On se rend compte ainsi que les termes $c_1 x$ et $C_1 x$ sont représentés chacun respectivement par une droite, ces deux droites étant portées en dessous de l'axe des abscisses, tandis que les droites représentant les deux autres termes $c_2 y$ et $C_2 y$ sont construites au-dessus de cet axe. La somme z correspondant à des valeurs données respectivement de x et de y est représentée par la longueur de l'axe des ordonnées comprises entre les ordonnées du point d'abscisse x de la droite $c_1 x$ ou $C_1 x$ et de celui d'abscisse y de la droite $c_2 y$ ou $C_2 y$ suivant le système considéré. On construit facilement la droite dans le deuxième quadrant déterminé par ces mêmes axes de coordonnées, dont les points ont pour abscisse la puissance x et pour ordonnée les frais totaux, ceux-ci étant les mêmes dans le système c_1, c_2 que dans le système C_1, C_2.

Cette droite divise le quadrant en deux parties, pour les points se trouvant au-dessous de cette droite l'une des tarifications est plus favorable que l'autre et pour ceux au-dessus de cette droite, c'est la seconde tarification qui est la plus favorable.

L'auteur montre l'application de ce procédé au cas de la tarification multiple ; il compare, à titre d'exemple, une tarification simple à une tarification double dans un cas concret bien défini, c'est-à-dire en fixant les valeurs numériques des tarifs considérés.

III. **L'influence de la tarification de l'énergie réactive sur l'exploitation technique et commerciale des installations électriques d'après les résultats obtenus par le groupement Società Adriatica di Elettricità.** Rapport de Giacomo Fracanzani, directeur du service de recherches de la Società adriatica di Elettricità, présenté par l'Unione nazionale fascista Industrie elettriche. — Dans ce rapport de seize pages de texte avec quatre figures dans le texte, l'auteur fait ressortir l'influence qu'a eue la tarification de l'énergie électrique sur les résultats d'exploitation du réseau de la Società adriatica di Elettricità et il examine les modifications à apporter à la tarification actuelle de l'énergie réactive sur ce même réseau.

1. Amélioration du facteur de puissance et son importance. — La valeur moyenne du facteur de puissance des réseaux considérés relevé sur la haute tension, au départ des lignes de transmission d'énergie et des sous-stations qui était de 0,65 en 1919-1920, s'est stabilisée, depuis lors, à 0,78.

Le rapporteur examine les conséquences, avec les installations actuelles, d'une réduction à 0,65 de cette valeur atteinte de 0,78.

Les pertes d'énergie par effet Joule étant proportionnelles au carré du facteur de puissance augmenteraient de

$$\frac{(0,78)^2 - (0,65)^2}{(0,65)^2} = 0,45, \text{ soit de 45 pour 100.}$$

Or, en 1929, l'énergie produite et vendue a été de 800 millions de kilowatts-heures, celle achetée, de 630 millions, d'où l'énergie perdue, 170 millions de kilowatts-heures. Les pertes par rapport à l'énergie livrée sont donc

$$p'' = \frac{170}{630} = 0,27, \text{ soit 27 pour 100.}$$

Le même rapport avait été relevé en 1928. Ces nombres comprennent les pertes dans le fer des transformateurs placés dans les postes de transformation et de tous les transformateurs qui sont à la charge de la société de distribution ; ces pertes peuvent être évaluées dans l'ensemble à 3,5 pour 100. Ils comprennent encore l'augmentation virtuelle de la consommation correspondant à la majoration du prix de l'unité de quantité d'énergie par suite de la diminution du facteur de puissance, ce qui peut s'évaluer à 0,5 pour 100,

Il faudra donc diminuer la valeur de p'' de 3,5 et augmenter de 0,5 ce qui donne pour les pertes par effet Joule une valeur relative $p = 24$ pour 100 et une valeur absolue de 150 millions de kilowatts-heures. Si

l'on voulait laisser les installations dans leur état actuel, on devrait donc augmenter la production d'une quantité qui, rapportée à l'année 1929, devrait être de

$$150 \times 0{,}45 = 68 \text{ millions de kilowatts-heures.}$$

Les pertes par effet Joule, par rapport à la quantité d'énergie livrée, deviendraient alors

$$\frac{68 + 150}{630} = 0{,}35 \text{ environ.}$$

Pour la production de cette quantité d'énergie supplémentaire il serait nécessaire de prévoir une nouvelle usine qui augmenterait les frais de 9.5 millions de lire par an si l'on table pour le calcul des frais d'installation sur la somme de 1 lire par kilowatt-heure.

Mais une telle solution ne serait pas satisfaisante; aux pertes d'énergie élevées qui viennent d'être calculées correspond une chute de tension importante qui ne pourrait être admise : cette considération conduirait à une modification de l'ensemble du système de transmission et de distribution qui entraînerait, d'après les calculs développés dans le rapport, une augmentation des dépenses annuelles de 14 millions de lire; d'autre part, l'amélioration du système de production donnerait une augmentation de ces dépenses non plus de 9,5 millions de lire par an, mais de 4,2 millions de lire par an.

Il résulte de ces calculs que l'économie réalisée sur le capital du fait de l'amélioration du facteur de puissance est de 10,7 pour 100, en admettant égal à 1 160 millions de lire le capital représentant les installations de production, de transmission, de distribution et de transformation; les frais annuels d'exploitation s'élevant à 169 millions de kilowatts-heures sont réduits de 10,8 pour 100 environ. Notons encore que la recette totale provenant de la production de l'énergie réactive est de 2,7 millions de lire par an.

2. Les facteurs de puissance adoptés selon l'importance et les recettes correspondantes. — Deux méthodes ont été adoptées pour la fixation du facteur de puissance de base, c'est-à-dire du facteur de puissance pour lequel est établi le prix du kilowatt-heure. Dans quelques sociétés du groupement de la Società adriatica di Elettricità cette valeur varie avec la puissance installée; ainsi pour des puissances jusqu'à 5 kw, $\cos\varphi = 0{,}75$; entre 5 et 20 kw, $\cos\varphi = 0{,}80$; entre 20 et 100 kw, $\cos\varphi = 0{,}85$; au-dessus de 100 kw, $\cos\varphi = 0{,}85$, le facteur de puissance étant mesuré sur la haute tension, tandis que dans les trois premiers cas, il est mesuré sur la basse tension. D'autres sociétés ont adopté une valeur moyenne comprise entre 0,75 et 0,86.

En ce qui concerne les recettes supplémentaires résultant d'une majoration des prix de l'énergie lorsque le facteur de puissance est inférieur à une certaine limite, il ressort de la comparaison des résultats qu'elles sont indépendantes de la valeur de base du facteur de puissance : elles atteignent en moyenne, dans les diverses sociétés de distribution considérées, 3 pour 100 seulement des recettes totales provenant de la force motrice. Cette uniformité des recettes dénote d'abord une réelle amélioration du facteur de puissance; mais elle montre aussi l'influence de la valeur de base du facteur de puissance : l'amélioration n'a été opérée que jusqu'à la valeur admise comme valeur limite inférieure admissible de ce facteur de puissance; c'est bien ce que font ressortir des diagrammes reproduits dans le rapport et montrant comment varie le nombre d'installations d'abonnés, en centièmes du nombre total, dont le facteur de puissance est égal à une valeur donnée en fonction de ce facteur de puissance.

Un autre diagramme donne le nombre d'installations d'abonnés, en centièmes, dont le facteur de puissance est égal ou supérieur à celui représenté par l'abscisse correspondante. On constate, en particulier, que le nombre d'installations d'abonnés dont le facteur de puissance est égal ou supérieur à la valeur de base est plus grand pour les installations importantes que pour les installations de faible et moyenne puissance.

3. Les systèmes de tarification adoptés par le groupement de la Societa adriatica di Elettricita par rapport aux conditions réelles des installations. — Deux formules de tarification ont été adoptées par ce groupement. Dans la première, les majorations des prix lors d'une diminution du facteur de puissance, sont calculées d'après 60 pour 100 des écarts du facteur de puissance par rapport à la valeur contractuelle; dans la deuxième, les majorations sont calculées sur la base d'un nombre de centièmes (40) du supplément d'énergie réactive consommée par rapport à l'énergie réactive qui correspondrait à la valeur de base contractuelle du facteur de puissance. Ainsi, avec la première formule, pour un facteur de puissance de base égal à 0,78, la diminution du facteur de puissance à 0,65 conduit à une majoration des prix de

$$\frac{0{,}78 - 0{,}65}{0{,}65} \times 60 = 12 \text{ pour } 100.$$

En ce qui concerne la deuxième formule, l'auteur rappelle qu'en pratique on adopte pour le coefficient p' d'équivalence de l'excédent d'énergie réactive et de l'énergie réelle l'expression suivante

$$p' = \frac{1}{\sqrt{3} + \operatorname{tg}\varphi_0},$$

où φ_0 est l'angle correspondant au facteur de puissance de base, formule qui conduit à des résultats peu différents de la formule théorique. L'application à la société déjà considérée plus haut de la deuxième formule pour le calcul des majorations des prix résultant d'un facteur de puissance trop faible montre que cette

formule, bien qu'établie en 1920, correspond très bien aux conditions présentes de l'installation.

4. Conclusion. — La tarification de l'énergie réactive entraîne une réelle amélioration du facteur de puissance et des conditions d'exploitation des réseaux. Les modes de tarification adoptés répondent bien aux conditions réelles des installations. A ces deux points démontrés dans le cours du rapport, M. Fracanzani en ajoute deux autres.

« Avant tout, écrit-il, l'assertion qu'il n'est pas logique de fixer pratiquement des valeurs élevées du facteur de puissance ne répond pas à la vérité des faits, puisque le montant des majorations est le même quelle que soit la valeur de base choisie pour le facteur de puissance (0,75, 0,80 ou 0,86). On peut même affirmer qu'il est plus sage, à l'égard aussi de l'économie générale du pays, d'adopter pour le facteur de puissance de base 0,86 que 0,75 ou une valeur quelconque plus basse, et qu'il est à souhaiter que tous les exploitants d'un commun accord reportent le facteur de puissance à la valeur de base plus élevée. Les abonnés d'abord se plaindront, mais les statistiques sont là pour démontrer que les difficultés pour arriver à un facteur de puissance assez élevé ne sont pas insurmontables.

» L'autre considération concerne l'opinion, encore assez répandue, qu'il suffirait d'augmenter les prix de vente de l'énergie proportionnellement aux recettes de la majoration pour un facteur de puissance insuffisant, sans ennuyer les abonnés par d'autres impositions. D'abord, il serait injuste d'établir des sanctions au désavantage des abonnés ayant une utilisation satisfaisante, afin de ne point troubler ceux qui ont une mauvaise utilisation ; en deuxième lieu, il ne suffirait point d'augmenter les prix de vente de 3 pour 100 environ (dans le cas envisagé au cours du rapport), mais il faudrait augmenter de 25 pour 100 (toujours dans ce même cas), le prix de toute l'énergie fournie pour la force motrice. Les conséquences seraient une charge très lourde pour tous les abonnés et probablement une diminution de la demande d'énergie, en même temps qu'un désavantage considérable pour l'économie nationale. »

IV. **Les tarifs dans les cahiers des charges en Pologne.** Rapport de Maurice Altenberg, ingénieur. — Dans ce rapport, de six pages de texte avec six figures et un tableau dans le texte, sont exposées les fluctuations que subirent les tarifs de vente de l'énergie électrique en Pologne depuis la loi du 21 mars 1922, mentionnée dans ces colonnes (1), et suivant laquelle le prix de l'énergie électrique ne doit pas dépasser le maximum des tarifs prescrits par les cahiers des charges imposés par le Ministère des Travaux publics. Ces fluctuations ont suivi celles du zloty qui fut stabilisé en 1924 à parité avec le franc suisse et dont la valeur tomba vers le milieu de l'année 1926 à la valeur de 58 centimes suisses.

A partir de 1927, les tarifications des sociétés de distribution contiennent des clauses de variation de prix en fonction de trois facteurs, le charbon, la main-d'œuvre et l'or. A chaque variation du prix du charbon de 1 pour 100 correspond une variation du tarif de 0,25 pour 100 au maximum ; à chaque variation de la main-d'œuvre de 1 pour 100, la variation du tarif est également de 0,25 pour 100 et à chaque variation de l'or de 1 pour 100 la variation du tarif est de 0,4 pour 100. En outre, les concessions nouvelles contiennent une clause de révision générale des tarifs en rapport avec les conditions économiques. Ces révisions sont prévues tous les cinq ans, à partir de 1935.

Des rabais peuvent être consentis sur le prix maximum, qui sont fonction de l'utilisation de la puissance branchée au réseau. Les grandes entreprises accordent, en fonction de cette utilisation, des rabais pour l'éclairage de 25 à 90 pour 100 ; pour la force motrice jusqu'à 10 kw, 35 à 80 pour 100 ; pour la force motrice de 10 kw et au-dessus, de 45 à 90 pour 100. Les petites entreprises accordent des rabais pour l'éclairage de 25 à 75 pour 100 et pour la force motrice de 35 à 70 pour 100.

Le rapporteur reconnaît que le mode de tarification ne contribue pas au développement des applications domestiques de l'électricité ; mais les entreprises ont le droit d'introduire toute autre forme de tarif avec la seule condition que le tarif qui en résulte ne soit pas plus élevé que le tarif maximum avec les rabais prévus dans l'acte de concession.

La clause de l'énergie réactive est prévue sous la forme d'une augmentation de tarif de 1 pour 100 au maximum pour chaque centième du facteur de puissance inférieur à 0,7 et exceptionnellement à 0,8.

V. **La tarification de l'énergie électrique en Belgique.** Rapport de Paul Chaudoir, ingénieur directeur de la Société d'Electricité du Bassin de Charleroi et de la Société d'Electricité du Borinage. — Dans ce rapport de vingt-deux pages de texte sont résumés et commentés les résultats d'une enquête auprès des sociétés belges de distribution d'énergie électrique relative à la question de la tarification. Le rapporteur distingue la « grosse et moyenne » clientèle, la « très grosse » clientèle et la « petite » clientèle sans préciser davantage par des nombres relatifs à la puissance installée ou à la consommation annuelle d'énergie à quelles catégories d'abonnés correspondent ces désignations.

1. Fourniture a la grosse et a la moyenne clientèle. — Pour la fourniture à la grosse clientèle la tarification avec garantie de consommation tend à être remplacée par la tarification à formule binôme, qui n'a pas l'inconvénient de la première en ce qui concerne, en fin d'année, le rappel pour garantie non atteinte. Dans la

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 6 octobre 1928, t. XXIV, p. 505-506. Résumé du rapport de Kazimierz Straszewski présenté au Congrès de Paris de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (juillet 1928).

tarification à formule binôme, les sociétés de distribution tendent à augmenter le coefficient du terme correspondant à l'intérêt et à l'amortissement des installations et d'abaisser le coefficient du terme proportionnel aux frais de production pour faire varier le prix de vente parallèlement au prix de revient.

Quant à la clientèle, elle préfère un prix qui ne varie pas trop avec le mode d'utilisation, car elle constitue un élément d'insécurité, dont l'influence est particulièrement sensible dans les moments de crise industrielle.

Dans la fixation des facteurs qui déterminent le prix du kilowatt-heure, la tendance est d'adopter des index, dont la détermination échappe aux deux parties, fournisseur et consommateur. Le charbon pris comme étalon est, d'une manière générale, le charbon type C (fines demi-grosses de 13 à 18 pour 100 de matières volatiles), à 15 pour 100 de cendres et 34 pour 100 d'humidité. Les frais de transport et de déchargement sont de plus en plus fixés forfaitairement et corrigés d'après les barèmes officiels.

Les corrections en fonction des salaires sont peu à peu remplacées par des corrections en fonction des index des prix de détail.

Pour la tarification de l'énergie réactive, les sociétés de distribution belges préfèrent, pour des raisons plutôt commerciales, une modification du prix de l'énergie en fonction du facteur de puissance moyen à la tarification séparée de l'énergie réactive. Lorsque le facteur de puissance atteint une valeur élevée, on admet, en général, des réductions de prix.

2. Fourniture a la très grosse clientèle. — Deux sociétés seulement ont consacré une grande part de leur activité à la fourniture à la très grosse clientèle avec contrat de participation, mais dans des sens différents : la première dans le sens de la participation du consommateur dans les économies réalisées par le producteur d'énergie et l'autre dans le sens de la participation du producteur dans les bénéfices réalisés par le consommateur.

3. Fourniture a la petite clientèle. — En ce qui concerne la petite clientèle, les tarifs des concessions antérieures à 1912 sont encore en voie de remaniement. Les concessions se divisent en concessions antérieures à 1917, postérieures à 1917 et antérieures à mai 1925 et enfin celles postérieures à mai 1925.

Les prix résultant des adjudications récentes conduisent, pour le premier trimestre 1930, à des prix variant de 2,75 fr à 3,75 fr pour l'éclairage et de 1,40 fr à 3.25 fr pour la petite force motrice.

Un certain nombre de distributeurs favorisent le développement de la vente de l'énergie électrique pour appareils domestiques par des tarifications réduites.

VI. **Discussion.** — M. Motta (Italie) signale qu'il est dangereux de faire des comparaisons entre les tarifications adoptées dans différents pays, car les conditions économiques sont très différentes d'un pays à l'autre. C'est ainsi qu'il est difficile de comparer, à ce point de vue comme à d'autres, ce qui se passe aux Etats-Unis avec ce qui se passe dans les divers pays d'Europe. M. Motta rappelle un incident qui s'est produit à la session de Berlin de la Conférence mondiale de l'Energie l'Energie. Des attaques injustifiées s'étant manifestées à cette occasion contre les exploitants de distributions d'énergie électrique, le Comité de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique a rédigé le texte d'une déclaration, soumise par lui à la ratification du Congrès et dont M. Motta donne lecture (Cette déclaration a été publiée in extenso dans ces colonnes (1)). Le Congrès l'adopte à l'unanimité.

M. Motta ajoute encore qu'il approuve l'opinion exprimée par M. Antoine et d'après laquelle il faudrait arriver dans l'avenir à une grande simplicité dans l'établissement des tarifs. Il demande que l'Union internationale réunisse une documentation aussi complète que possible sur les tarifs pratiqués dans les différents pays.

M. Derdeyn (Belgique) traite sommairement la question de la tarification de l'énergie réactive. M. List attire l'attention sur les considérations d'ordre à la fois pratique, psychologique et commercial qui doivent guider ceux qui établissent des tarifs, au moins autant que les considérations purement techniques.

M. Scoumanne (Belgique) revient à l'affirmation, déjà énoncée à diverses reprises au cours de ce Congrès, qu'il ne serait plus nécessaire, sinon dans le présent, du moins dans l'avenir, de différencier les abonnés qui utilisent l'énergie à tel ou tel moment plutôt qu'à un autre ou pour telle ou telle application, étant donné que grâce aux interconnexions et au développement de nouveaux usages de l'électricité, les tarifs tenteraient à s'égaliser. M. Scoumanne considère que cette opinion est parfaitement exacte pour les usines génératrices et pour les réseaux à très haute tension. Elle l'est déjà moins, selon lui, pour les réseaux à moyenne tension et beaucoup moins encore pour les réseaux à basse tension, car, dans ces derniers, l'égalisation ne peut être obtenue qu'entre des usages indéterminés et relativement restreints.

M. Scoumanne montre à cet égard ce qui se passe dans les réseaux urbains et dans les réseaux ruraux et conclut qu'un tarif doit être constitué de telle manière que les tarifs spéciaux établis pour le développement de telle ou telle application de l'énergie, notamment les usages domestiques, tiennent compte du moment de l'utilisation.

M. Bitouzet (France) insiste sur la question du prix de revient de l'énergie et appuie les considérations d'ordre commercial développées par M. List. La notion du prix de revient est extrêmement variable, alors que les nécessités commerciales sont, au contraire, très précises et sont déterminées soit par la concurrence, soit par l'importance du service rendu par le fournisseur au client.

(1) *Revue générale de d'Electricité*, 15 novembre 1930, t. XXVIII, p. 770.

M. Straszewski (Pologne) insiste pour la simplification des formes de tarification. M. Niesz (Suisse) signale que quelques sociétés suisses ont déjà supprimé tout prix de location du compteur et note ce fait comme un grand progrès. Il montre les avantages du tarif unique dégressif par tranches de consommation. — A. C.

XIII. La statistique internationale de la production et de la distribution d'énergie électrique

Cette question a fait l'objet de deux rapports, l'un présenté par M. Ganguillet (Suisse) constituait le rapport général, le second, de M. Stanislas Konczykowski (Pologne).

I. **La statistique internationale de la production et de la distribution d'énergie électrique.** Rapport général de O Ganguillet, secrétaire de l'Union de Centrales suisses d'Electricité. Dans ce rapport de cinq pages de texte, l'auteur rappelle qu'il a exposé au Congrès de Paris, en 1928 (1), son point de vue sur la différence qui existe entre la statistique nationale, naturellement détaillée, et la statistique internationale qui ne contient que des données fondamentales très exactement définies. Il avait alors exposé un projet de statistique internationale, énuméré les données fondamentales que cette dernière devrait comprendre et il avait précisé les définitions de ces données fondamentales. Le Comité de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique a adopté le schéma proposé avec quelques modifications. Sur ces bases, le bureau de Paris de l'Union internationale a pu obtenir les chiffres relatifs aux années 1927 et 1928 et aura bientôt les résultats de 1929. Mais cette statistique présente encore de nombreuses lacunes, car beaucoup de pays n'y participent pas ou fournissent des réponses incomplètes.

Le rapporteur donne ensuite quelques renseignements sur la statistique de production d'énergie en Suisse. Les résultats de la statistique sont publiés régulièrement mois par mois depuis le 1er octobre 1926, dans le « Bulletin de l'Association suisse des Electriciens ». Cette statistique néglige : la production des petites usines de moins de 1 000 kw, soit environ 120 millions de kilowatts-heures par an ; la production des chemins de fer fédéraux, soit environ 450 millions de kilowatts-heures par an ; la production des usines appartenant à des industriels qui absorbent eux-mêmes l'énergie produite, soit environ 1 200 millions de kilowatts-heures par an.

Voici en millions de kilowatts-heures, les chiffres relatifs à l'année 1928-1929 : énergie disponible dans les usines au fil de l'eau, 3 788 ; énergie produite par les usines avec bassins d'accumulation saisonniers, 506,6 ; énergie importée, 21,4 ; énergie produite dans les installations thermiques, 5,07. L'énergie totale disponible a donc été de 4 321,07. Dans ce total n'ont pu être utilisés environ 762 millions de kilowatts-heures ; la quantité utilisée a été de 3559. La quantité d'énergie exportée s'est élevée à 1 094,1 millions de kilowatts-heures.

La quantité d'énergie susceptible d'être emmagasinée dans les bassins d'accumulation saisonniers était de 314 millions de kilowatts-heures. Enfin le rapport entre l'énergie utilisée et celle qui aurait pu être produite a été de 82,3 pour 100.

L'auteur donne ensuite quelques renseignements sur la carte des usines suisses de production d'énergie à l'échelle de 1/500 000, qui a été récemment publiée en Suisse.

II. **Les définitions principales qui caractérisent la production, le transport et la distribution de l'énergie électrique.** Rapport de M. Stanislas Konczykowski, ingénieur. — Dans ce rapport, de vingt deux pages de texte, sont présentées des propositions concernant certaines caractéristiques des usines électriques dans le but d'élargir les statistiques par certaines données dont la connaissance est indispensable pour établir les projets des établissements nouveaux. Ces propositions ont été établies sur l'initiative du directeur de la Société anonyme Sila i Swiatlo (Force et Lumière), à Varsovie, et de M. Casimir Gayczak, vice-président de l'Union des Centrales électriques polonaises.

La *puissance disponible* dépend non seulement de la puissance des génératrices principales installées, mais aussi de la capacité de production de toute une série d'autres installations indispensables à la génération de l'énergie électrique, comme par exemple, la capacité de production des chaudières, des installations pour l'eau d'alimentation, pour le charbon, etc. Le rapporteur propose de considérer comme « puissance disponible » la puissance utile maximum de l'établissement, c'est-à-dire la puissance maximum que l'usine est en état de fournir aux réseaux sans limiter la marche des installations quelconques, installations de production ou auxiliaires, exception faite des installations qui, à cause de leur caractère, ne peuvent travailler sans interruption.

Il propose encore de considérer comme *réserve* la différence entre la pleine puissance, éventuellement la pleine capacité de production normale, des installations données, dans l'usine de production, et la puissance, éventuellement la capacité de production normale de ces installations, qui à la charge maximum de l'établissement sont simultanément en marche.

La *puissance active* désignerait la puissance utile

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 13 octobre 1928, t. XXIV, p. 540 et 541.

que l'usine de production d'énergie est en état de livrer aux réseaux, en prenant en considération les installations qui restent en réserve, cette puissance caractérisant la puissance utile des installations qui, à la charge maximum de l'usine, sont simultanément en marche.

La différence entre l'énergie fournie à l'usine et l'énergie livrée aux réseaux qu'elle alimente exprime les pertes de la transformation de l'énergie; ces pertes comprennent les pertes directes et la consommation d'énergie pour l'usage propre de l'usine. Il est malaisé, dans les usines génératrices modernes, d'évaluer cette dernière consommation, en raison de la complexité du processus de la transformation de l'énergie. Dans les usines thermiques, par exemple, une partie de l'énergie utilisée pour la commande des installations auxiliaires peut être récupérée; en outre, l'énergie absorbée par ces dernières n'est pas toujours mesurée eu égard aux complications et même aux impossibilités qu'entraînerait cette opération. La consommation d'énergie pour l'usage propre de l'usine ne représente qu'une partie de toutes les pertes de la transformation d'énergie et, par conséquent, cette consommation ne caractérise pas le rendement de l'usine.

Le rapport de l'énergie livrée aux réseaux pendant un certain temps à l'énergie fournie à l'usine pendant le même temps définit le *rendement moyen de l'usine*.

La *production de l'usine*, pendant un certain temps, serait la quantité d'énergie livrée aux réseaux.

On considérerait comme *charge* de l'usine génératrice la charge du réseau mesurée tout près de l'usine, par conséquent le total des charges simultanées des lignes particulières partant de l'usine de production. Dans les usines de faible puissance la charge varie peu dans une courte période de temps, du fait que les réseaux qu'elles alimentent desservent surtout des installations d'éclairage et des petits moteurs électriques. Au contraire, quand il s'agit d'usines importantes alimentant de grands établissements industriels, par exemple des forges ou des mines, la charge varie considérablement durant des périodes de temps très réduites. Le rapporteur estime qu'il faut, en conséquence, distinguer la charge « momentanée » et la charge « moyenne » pendant un certain temps. Il propose donc de prendre comme charge de l'usine génératrice la charge moyenne maximum pendant trente minutes. Ainsi la charge maximum de l'usine pendant une certaine période de temps, par exemple un mois ou un an, sera égale à la charge moyenne maximum pendant une période de trente minutes.

En principe, la puissance nominale des récepteurs doit être considérée comme étant la *puissance des installations raccordées*. Lorsqu'il s'agit d'abonnés importants on pourrait prendre comme puissance des installations raccordées la puissance des transformateurs installés et des moteurs à haute tension. Le rapporteur propose que chaque usine publie séparément la puissance des installations raccordées pour les catégories suivantes des récepteurs : éclairage privé; autres besoins domestiques; éclairage public force motrice raccordée aux réseaux à basse tension; force motrice raccordée aux réseaux à haute tension; traction; agriculture, sans éclairage; électrothermie, électrochimie; modes mixtes de consommation.

Il est proposé de définir la *consommation annuelle de l'énergie électrique* de la même manière que la puissance des installations raccordées, conformément aux divisions indiquées ci-dessus.

Le rapporteur précise la signification des termes tels que ceux de facteur de charge, facteur de simultanéité, facteur d'utilisation, qui sont à considérer dans l'établissement des statistiques.

Voici à ce sujet en quels termes il s'exprime dans le rapport qui nous occupe:

« Il convient de souligner qu'en parlant du rendement il faut toujours préciser s'il s'agit de rendement moyen, dans un certain temps, ou bien du rendement à la charge maximum.

» Le rapport de la charge maximum, mesurée dans un certain point du réseau, au total des charges maxima, éventuellement à la puissance nominale des installations raccordées, serait nommé degré de simultanéité.

» Le degré de la charge exprimerait le rapport de la charge moyenne dans un temps donné à la charge maximum respective.

» On désignerait par degré d'utilisation le rapport de la charge de l'usine de production dans un temps donné à la puissance disponible de l'usine. Le temps d'utilisation de la charge maximum serait le rapport du nombre de kilowatts-heures produits ou reçus dans un temps donné à la charge maximum respective. »

Deux spécimens de questionnaires annexés ont été élaborés conformément aux principes de la statistique exposés dans le rapport. Ces spécimens sont établis suivant les imprimés usités par l'Union des Centrales électriques polonaises avec quelques changements indispensables à cause de l'introduction des conceptions nouvelles et d'une interprétation différente des conceptions connues.

III. **Discussion**. — M. List signale que le rapport qu'il avait préparé et qui n'a pu être publié tendait à mettre en lumière la nécessité d'une simplification et d'une très grande précision des statistiques aux fins de statistiques internationales.

Par contre, les renseignements demandés par M. Konczykowski paraissent être utiles pour une statistique nationale, mais trop complets pour une statistique internationale. M. Brylinski donne quelques renseignements sur les conditions dans lesquelles l'Union internationale établit ses statistiques et sur l'accord donné par la Conférence mondiale de l'Energie et la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension pour que l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique soit et reste seule chargée du soin d'établir les statistiques internationales. — R. L.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Le henry et les autres unités magnétiques pratiques

L'auteur ajoute aux remarques qu'il a présentées précédemment (*) quelques éléments nouveaux. Il précise le tableau des unités magnétiques Q. E. S. (quadrant, 10^{-11} gramme, seconde) par des noms indépendants de ceux des unités C. G. S. et montre que la définition du henry, unité magnétique en réalité, et la relation $\Phi = LI$ imposent le choix de l'unité pratique de flux magnétique égale à 1 henry-ampère, soit $= 10^8$ unités C. G. S. à moins qu'on ne veuille renoncer au système Q. E. S.

I. **Observations sur les nouveaux projets d'unités électriques et magnétiques.** — La récente discussion des nouveaux projets d'unités électriques et magnétiques (1) suggère quelques observations complémentaires sur l'emploi d'une partie des unités C.G.S. comme unités pratiques. Je rappelle d'abord les principes qui nous inspirent :

1° En principe, il est très désirable de ne pas introduire un grand nombre d'unités nouvelles, car l'expérience démontre que leur multiplication, loin de favoriser la clarté, complique l'enseignement et donne lieu à des confusions.

2° En particulier, il n'y a aucune nécessité de donner des noms spéciaux à des unités secondaires dérivées des unités fondamentales au moyen d'une simple division ou multiplication par une grandeur métrique (longueur, volume, surface); par exemple, on n'a pas créé de nom d'unité pour la densité du courant. Il n'y a donc pas lieu d'en proposer un pour la densité de flux.

Certaines personnes croient que l'introduction explicite de l'unité de longueur dans les unités dérivées usuelles peut créer des complications ou des confusions, telles que celle du kilomètre-heure pour la vitesse, au lieu du kilomètre par heure.

Mais les confusions de ce genre ne trompent personne, car kilomètre-heure, par exemple, ne répond à aucune expression physique.

Au contraire, l'expérience démontre surabondamment que des noms d'hommes attribués à des unités dérivées entraînent des confusions; par exemple croit-on qu'on aurait vu se prolonger pendant plus de trente-cinq ans l'invraisemblable malentendu qui a existé entre les Américains et nous sur la signification du gauss (proposé par eux comme unité d'induction et compris par nous comme unité de champ) si on avait proposé pour cette unité le maxwell par centimètre carré, si facile à distinguer du gilbert par centimètre?

D'autre part, on ne paraît pas se rendre suffisamment compte combien est précieuse pour les applications la souplesse des unités usuelles contenant l'unité de longueur, par exemple pour l'inductance des lignes le henry par kilomètre (et non pas par quadrant), pour la densité de courant l'ampère par millimètre carré (et non pas par quadrant carré), pour la brillance d'une source de lumière la bougie par millimètre carré (et non pas par mètre carré).

L'exemple le plus saisissant de cette souplesse est celui des unités usuelles du gradient de potentiel, qui sont pour les tubes à rayons X le kilovolt par centimètre et pour les antennes réceptrices de télégraphie sans fil le microvolt par mètre, unité 10^{11} fois plus petite. Que deviendrait-on si l'on devait, suivant la méthode de la Commission électrotechnique internationale, créer un nom, par exemple le helmholtz, pour le volt par quadrant, et interdire l'emploi des autres unités usuelles qu'on vient d'énumérer?

3° Il est très facile d'utiliser un système pratique, destiné uniquement aux applications et comprenant toutes les unités nécessaires empruntées au système Q. E. S. (10^9 cm-10^{-11}g-s) de Maxwell, qui a été créé spécialement dans ce but.

Nous ne savons pas actuellement si le système Q.E.S. qui, à l'époque où il a été créé, représentait la meilleure solution, n'est pas appelé à être remplacé plus tard par un système théoriquement meilleur (par exemple celui que nous avons proposé en 1902 (1)). Mais, tant qu'on l'emploie pour les unités *électriques*, il doit être aussi facile de l'utiliser pour les unités *magnétiques*,

(*) A. Blondel ; Sur les unités magnétiques. Un plaidoyer pour la logique. *Revue générale de l'Electricité*, 11 octobre 1930, t. XXVIII, p. 555-560.

(1) A.-E. Kennelly ; Les unités du circuit magnétique (traduit de l'anglais par L. Vellard). *Revue générale de l'Electricité*, 14 juin 1930, t. XXVII, p. 923 932.

Paul Janet ; A propos de la question des unités magnétiques. *Idem*, 14 juin 1930, t. XXVII, p. 933-934.

A. Blondel. *Loc. cit.*

A. E. Kennelly ; Unités et définitions adoptées par l'Assemblée plénière de la Commission électrotechnique internationale tenue en Scandinavie en 1930 (traduit de l'anglais par L. Vellard). *Revue générale de l'Electricité*, 8 novembre 1930, t. XXVIII, p. 719-722.

E. Brylinski ; Observations sur les décisions de la Commission électrotechnique internationale concernant les unités magnétiques. *Idem*, 8 novembre 1930, t. XXVIII, p. 722-725.

(1) Les unités électriques. Congrès de l'Association française pour l'Avancement des Sciences, Boulogne, 1902.

puisque l'unité de flux y est égale au volt-seconde et l'unité de potentiel magnétique, à 4π ampères-tours.

De ces considérations il découle que l'on devrait n'avoir, même au point de vue du magnétisme, qu'un système pratique homogène et cohérent d'unités qui serait le système de Maxwell, utilisant seul des noms d'*hommes*. Les unités C. G. S., d'après les conventions faites au moment de la création de ce système, ne doivent recevoir que des noms tirés des langues mortes (1).

L'idée de former des combinaisons nouvelles entre les unités existantes pour substituer le mètre ou le centimètre au quadrant comme unité de longueur a été mise en avant par plusieurs auteurs : MM. Giorgi, Dellinger et Bennett, Brylinski.

Nous ne méconnaissons pas l'ingéniosité et l'intérêt très grand de ces systèmes; mais nous ne croyons pas que la difficulté de faire adopter les modifications qu'ils exigeraient dans les habitudes du grand public soient compensées par un intérêt pratique suffisant.

L'emploi du mètre n'est pas plus pratique que celui du centimètre; il ne semble pas surtout qu'on puisse faire adopter aux physiciens l'attribution à l'eau d'une densité de 1/1000, comme cela est nécessaire dans le système de Giorgi, au lieu de la densité 1 qui est fondamentale en physique. Toutes les densités seraient donc à réduire dans la même proportion. L'étalon du kilogramme des Archives ne représenterait plus que 1 gramme. Tout le système des poids et mesures serait modifié.

C'est pour ce motif que le système mètre-kilogramme-seconde, examiné par la Commission des Poids et Mesures en 1913, a été repoussé au profit du système M. T. S. (mètre-tonne-seconde) qui est devenu ensuite légal en France (2).

Il n'y a donc aucune chance de pouvoir faire adopter dans notre pays le système M. K. O. S. de Giorgi, malgré l'ingéniosité et l'attrait qu'il présente à certains égards. De même, dans le système de Bennett, l'unité de masse 10^{-7} g n'est pas plus pratique que 10^{-11} g. Dans la proposition de M. Brylinski, le kilofarad est bien trop grand, puisqu'on est obligé, au contraire, de créer le microfarad; le milliohm est, par contre, une unité trop petite pour qu'on puisse la rendre fondamentale. Et malheureusement, le peu de succès obtenu jusqu'ici par le système M. T. S., dont les Anglo-Saxons restent peu partisans (car ils tiennent au pied), n'est pas très encourageant.

Il ne semble donc pas que les avantages obtenus par ces systèmes puissent justifier la terrible gêne qu'entraînerait le bouleversement complet des habitudes prises par le monde savant dans tous les pays et la difficulté future de l'interprétation de l'immense littérature scientifique déjà accumulée.

Il reste donc seulement, pour le moment (1), à faire un choix pour les unités magnétiques entre les systèmes C. G. S. et Q. E. S. de Maxwell; la seule objection contre ce dernier porte sur l'unité de longueur, et on en a abusé d'une façon très injuste, croyons-nous, en s'en servant comme d'une arme contre les unités magnétiques seules, tandis qu'on n'en tient pas compte dans des cas exactement semblables quand il s'agit des unités électriques.

Maxwell qui, le premier, a indiqué que l'unité de longueur du système Q. E. S. est le quadrant, n'en a pas été gêné en quoi que ce soit pour proposer de compléter ce système par des unités magnétiques cohérentes.

Le tableau I de la page 1036 en indique le moyen en partant de l'ampère, du volt et de la seconde comme unités fondamentales.

II. **Le henry.** — Les électriciens d'outre-Atlantique ont adopté implicitement le point de vue de Maxwell, quand ils ont fait adopter par le Congrès de Chicago (1893), une unité pratique d'*inductance*, le *henry* (égale à 10^9 C. G. S.), qui est bel et bien une unité *magnétique* (2). Et c'est justement pour souligner ce caractère qu'on en a remplacé le nom primitif de « quadrant » par un nom d'homme.

Remarquons, de plus, que l'expression théorique de l'inductance d'une bobine toroïdale est

$$L = \frac{\Phi}{I} = \frac{4\pi n^2}{\mathcal{R}} = 4\pi n^2 \frac{\mu S}{l},$$

en appelant S la surface d'une spire, Φ le flux d'induction, l la longueur moyenne d'une ligne de force, $\mathcal{R}$ la réluctance, μ la perméabilité; $\mu \frac{S}{l}$ est la *perméance*.

On a donc admis, *par le fait même* de la création du henry, une unité pratique de perméance égale à 10^9 unités C. G. S. de perméance; il y a ainsi, depuis 1893, force de *chose jugée* en faveur de l'application du système Q. E. S. aux unités *magnétiques*.

Bien plus, la relation $\Phi = LI$ entre le flux, le courant et l'inductance d'une bobine exige à priori et formellement que l'unité de flux corresponde au produit des unités d'inductance et de courant, c'est-à-dire à un henry-ampère, soit $10^9 \times 10^{-1}$ ou 10^8 unités C. G. S.

L'idée d'adopter l'unité C. G. S. comme unité pratique de flux, c'est-à-dire de lui donner un nom d'homme, se heurte donc à une impossibilité maté-

(1) Rien n'empêcherait de créer ces noms, comme suit :
pour le potentiel magnétique : magdyne (de δυναμις, potentiel);
pour le gradient : oxi (de αυξη, accroissement);
pour le flux : rhabd (de ραβδος, faisceau);
pour l'induction : épag (de επαγω, influencer).

(2) Projet de loi du 11 novembre 1913 voté par le Parlement français; la loi a été promulguée le 4 avril 1919 et complétée par le décret du 26 juillet 1919.

(1) On me permettra de rappeler que j'ai montré jadis (Congrés de l'Association française pour l'Avancement des Sciences, Boulogne 1902) qu'en créant des suffixes hyper, hypo, ana, cata, et en donnant des noms à toutes les unités principales du système C. G. S., on pourrait rendre inutile tout autre système y compris le système Q. E. S.

(2) Ils avaient proposé en même temps une unité de flux, le *weber* (10^8 C. G. S.) et une unité d'induction, le *gauss* (10^8 C. G. S.).

rielle absolue. Cela paraît avoir échappé aux ingénieurs électriciens qui proposent actuellement de donner des noms d'hommes à trois unités magnétiques du système C. G. S. : le gilbert pour la force magnétomotrice, le maxwell pour le flux et le gauss pour l'induction magnétique (cette dernière unité, égale au maxwell par centimètre carré, fait donc double emploi avec l'unité de flux).

On construirait ainsi un système *pratique* nouveau et incohérent, empruntant une partie de ses éléments au système Q. E. S., y compris l'inductance, et une autre au système C. G. S. Ainsi, l'unité de *perméance* du nouveau système, le « maxwell par gilbert », n'étant pas du même système que l'unité d'*inductance*, l'inductance dans l'air d'une bobine de 1 spire serait, dans ce système incohérent, égale à 10^9 fois la perméance de son circuit magnétique, au lieu qu'elle doit être égale à 1 dans tout système homogène d'unités.

Enfin, les équations qui définissent la force magnétomotrice et la force électromotrice induite exigeraient l'introduction de facteurs étrangers, puissances de 10.

$$F = 4\pi n I \times 10^{-1}, \qquad E = -\frac{d\Phi}{dt} \times 10^{-8}.$$

Ces équations ne sont donc pas les mêmes qu'en physique où l'on emploie les unités C. G. S. Pour échapper à cette conséquence, on propose de créer un préfixe *pra* (abréviation de *pratique*) signifiant à volonté 10 ou 10^8, pour donner aux unités correspondantes du système Q. E. S. les noms de pragilbert, pragauss, pramaxwell. Mais il y a là contradiction, car le gilbert, le gauss et le maxwell étant imposés comme *pratiques* par l'attribution de noms d'homme sont ipso facto eux-mêmes des pragilbert, pragauss, etc.

Si l'on désire de nouveaux préfixes, mieux vaut au point de vue mnémonique en créer qui aient un sens *fixe*, par exemple *sub* ou *octi* pour 10^{-8}, *ana* pour 10^8, *cata* pour 10^{-9} comme je l'ai proposé en 1902.

On pourrait attribuer les noms de oersted et weber aux unités Q E. S., dont on déduirait pour le système C. G. S. le décao ersted et le subweber; l'unité C. G, S. d'inductance serait de même un catahenry (1).

III. **Le système usuel d'unités V. A. S. (volt-ampère-seconde).** — J'ai démontré (2) que le quadrant comme unité de longueur du système Q. E. S. ne gêne pas plus les électriciens que l'unité de masse 10^{-11} g, ou l'unité de temps, la seconde ; car ils ont pris l'habitude de créer pour les unités *dérivées* des unités auxiliaires rapportées au centimètre, au gramme, et à l'heure (ampère par centimètre carré, volt par centimètre, watt-heure, watt-heure par kilogramme, ohm-centimètre, ohm par kilomètre, etc.); il n'y a *aucun* motif pour opérer autrement quand il s'agit des unités magnétiques dérivées. Le tableau I montre le parallélisme qu'on peut ainsi établir entre les unités électriques et magnétiques principales et dérivées, et j'ai montré par des exemples numériques qu'un tel système est d'un emploi très facile. Il l'est encore davantage quand on désigne l'unité C. G. S. de flux par 1 *subweber*.

Ce tableau (1) n'est que l'application pure et simple du système ampère-volt-seconde complétée par la considération de la réluctance magnétique. C'est le grand mérite de John Hopkinson d'avoir établi la symétrie entre le circuit magnétique et le circuit électrique ; on ne doit pas se priver des avantages pratiques considérables qu'offre cette considération féconde.

Un nom spécial pour l'unité de réluctance est intéressant pour beaucoup d'applications (indications de l'inclinaison des courbes caractéristiques des dynamos, alternateurs, moteurs; calcul des réactions d'induit et des inductances propres des différentes machines). Il n'est pas indispensable, puisqu'on a la ressource d'exprimer les réluctances en oersteds par weber et les perméances en webers par oersted ou (si l'on tient compte implicitement du facteur 4π) en ampères-tours par weber et en webers par ampère tour respectivement.

L'attribution d'un nom d'unité spécial et inversable pour exprimer à volonté la réluctance et la perméance serait surtout utile pour exprimer la réluctivité et la perméabilité magnétiques par des expressions courtes en fonction du kelvin et de son inverse le nivlek.

On va voir qu'il n'est pas nécessaire d'introduire explicitement le quadrant pour définir la perméabilité du vide, aussi bien que l'inductivité électrostatique.

En électricité, la résistivité d'un cube de 1 cm^3 d'une substance ayant la résistivité de 1 unité C. G. S., soumise entre deux faces opposées à une différence de potentiel de 1 unité C.G.S. et laissant passer un courant de 1 unité C. G. S., s'exprime en unités V. A. S. par

$$\frac{1 \text{ subvolt} : \text{cm}}{1 \text{ décaamp} : \text{cm}^2} = 10^{-9} \text{ ohm-centimètre.}$$

L'unité V. A. S. d'inductivité électrostatique du vide est de même égale à $\frac{1 \text{ ampère-seconde} : \text{cm}^2}{1 \text{ volt} : \text{cm}} = \frac{10^{-1}}{10^8}$ $= 10^{-9}$ unité C. G. S. d'inductivité.

De même en magnétisme, le corps ayant l'unité de perméabilité (pratiquement le vide) qui a une réluctivité égale à 1 dans le système C. G. S. a, dans le système V. A. S., une réluctivité de

$$\frac{1 \text{ décao ersted} : \text{cm}}{1 \text{ subweber} : \text{cm}^2} = 10^9 \text{ kelvin-centimètre}$$

(1) D'ailleurs un préfixe s'impose déjà pour désigner le millième de microfarad devenu unité courante en radiotélégraphie : le *catafarad* éviterait bien des erreurs de copie, (hyper et hypo ont été déjà proposés par nous en 1902 pour étendre le système C. G. S. aux multiples par 10^{15} et 10^{-15}).

(2) A Blondel ; Sur les unités magnétiques. Un plaidoyer pour la logique. *Revue générale de l'Electricité*, loc. cit.

(1) On n'y a pas fait figurer le « gauss », unité faisant double emploi avec le maxwell par centimètre carré; et d'ailleurs le gauss est déjà attribué par les géophysiciens à l'unité de champ.

TABLEAU I (1). — *Système d'unités pratiques "volt-ampère-seconde".*
Parallélisme entre les unités électriques et magnétiques principales et dérivées.

ÉLECTROCINÉTIQUE			MAGNÉTISME		
Grandeurs.	Unités.	Rapports aux unités C.G.S.	Grandeurs.	Unités.	Rapports aux unités C.G.S.
Grandeurs principales :			*Grandeurs principales :*		
Potentiel (ou force électromotrice)	Volt	10^{8}	Potentiel (ou force magnétomotrice)	Oersted	10^{-1}
Courant	Ampère	10^{-1}	Flux	Weber	10^{8}
Résistance	Ohm	10^{9}	Inductance $\left(L = \frac{\Phi}{I}\right)$	Henry	10^{9}
Conductance	Mho	10^{-9}	Réluctance	Kelvin	10^{-9}
			Perméance	Nivlek	10^{9}
Grandeurs dérivées :			*Grandeurs dérivées :*		
Gradient de potentiel	Volt : cm	10^{8}	Gradient ou intensité du champ magnétique	Oersted : cm	10^{-1}
Densité de courant	Ampère : cm^2	10^{-1}	Induction	Weber : cm^2	10^{8}
Résistivité	Ohm-cm	10^{9}	Réluctivité	Kelvin-cm	10^{-9}
Conductivité	Mho : cm	10^{-9}	Perméabilité	Nivlek : cm	10^{9}

(1) Nous appelons l'attention de nos lecteurs sur ce que dans le tableau analogue publié dans notre numéro du 1 octobre 1930, page 557, une erreur de signe a été commise dans les puissances de 10 figurant dans la dernière colonne : l'unité de flux d'induction et celle d'induction valent en effet, dans le système pratique, 10^{8} unités du système C. G. S. (et non 10^{-8}, comme il est imprimé par erreur dans cette colonne).

et la perméabilité du vide correspondante sera

$$\frac{1 \text{ subweber} : \text{cm}^2}{1 \text{ décao ersted} : \text{cm}} = 10^{-9} \text{ cm}$$

= 1 nivlek par centimètre (1).

Nous aurions pu proposer dans le tableau qui précède, comme noms d'unités, le gilbert, le maxwell, qui sont déjà connus ; mais, comme, aux Etats-Unis, on a pris l'habitude de les appliquer aux unités C. G. S., il paraît nécessaire aujourd'hui de proposer pour les unités pratiques d'autres noms d'hommes célèbres, également méritants : weber pour le flux, nom déjà proposé par Giorgi et Bennett (2), et kelvin pour l'unité de réluctance.

Remarque. — Si on adopte la méthode de rationalisation préconisée par Giorgi et Kennelly et d'autres, c'est-à-dire si l'on laisse de côté le facteur 4π dans l'expression de la force magnétomotrice, celle-ci est très clairement représentée simplement par le nombre des ampères-tours, suivant l'usage courant actuel, et dès lors le gradient de potentiel magnétique s'exprime en ampères-tours par centimètre.

Il suffit donc d'adopter l'unité de flux d'induction, le weber, pour en déduire l'induction qui est le weber par centimètre carré ; rien n'empêche de déduire de ces unités les unités C. G. S. correspondantes qui sont tout simplement 40π ampères-tours ou le décaampère-tour si l'on rationalise (au lieu du décao ersted).

Quant à la réluctivité rationalisée, elle a pour unité pratique l'ampère-tour-centimètre par maxwell et la perméabilité a pour unité correspondante le maxwell par ampère-tour-centimètre.

IV. **Conclusion.** — En résumé, ce n'est pas, je crois, jouer « fair play » contre les unités magnétiques de Maxwell que de leur opposer une carence (1) et de prétendues difficultés dont on ne s'embarrasse pas du tout dans la question complètement symétrique des unités électriques (2). Dans les deux cas on peut

(1) On voit que ces raisonnements immédiats ne font nullement intervenir le quadrant, dont on voudrait accabler le système de Maxwell. Mais suivant la vieille méthode : quand on veut faire tuer un chien, on le fait passer pour enragé.

(2) Giorgi définit le weber comme égal à 1 volt-seconde et le rattache ainsi aux unités électrocinétiques ; au contraire, nous le rattachons aux unités magnétiques, tout en le définissant comme égal à 1 henry-ampère.

(1) A ce sujet, je crois utile de rectifier une petite erreur qui s'est glissée dans le rapport de M. Kennelly ; ce dernier suppose que depuis de longues années personne n'avait défendu le système de Maxwell pour les unités magnétiques.

Au contraire, partant de cette idée modeste qu'un système proposé par un physicien de génie ne peut pas être inutilisable, j'ai, dès 1896, défendu ce système au Congrès de l'Association française pour l'Avancement des Sciences (*L'Eclairage électrique*, 20 juin 1896, t. VII, p. 529-536) ; je l'ai signalé aux membres du Congrès de 1900. Je l'aurais soutenu verbalement devant le Congrès si j'avais pu assister aux séances. A cette époque, Mascart était complètement hostile aux unités magnétiques C. G. S. Ma proposition a été défendue par M. de Fodor et un groupe d'ingénieurs de l'Europe centrale qui ont refusé par écrit d'accepter tout autre système. On ne peut donc pas invoquer la « prescription » contre le système de Maxwell.

(2) A-t-on jamais proposé de mesurer les densités de courant en ampères par quadrant carré ? Alors pourquoi proposer un pragauss égal à un pramaxwell par quadrant carré ?

aussi bien former des unités dérivées commodes sans mettre en jeu explicitement le quadrant ; c'est pourquoi on peut appeler ce système le système V. A. S. (volt-ampère-seconde).

Le circuit magnétique de Hopkinson appelle une solution semblable à celle du circuit électrique.

Et, en tout cas, on ne pourra négliger le fait que le « henry » est une unité du système magnétique et que la relation $\Phi = LI$ impose en conséquence une unité de flux magnétique (weber) du système de Maxwell, tant que celui-ci existe, et non du système C. G. S. (1).

Le subweber, le subweber : cm², le décaoersted peuvent rendre exactement les mêmes services que le maxwell, le gauss et le gilbert (pratiquement remplacé déjà par l'ampère tour du sys ème pratique) à ceux qui aiment les unités C. G. S., tout en supprimant les puissances de 10 dans toutes les équations hybrides qu'elles défigurent.

Le système proposé par la Commission électrotechnique internationale contient quatre unités (maxwell, gilbert, gauss et oersted), alors que les deux premières suffisent et que les deux dernières font double emploi avec elles et sont cause de la confusion qui règne depuis trente-cinq ans.

Les quatre mêmes unités précédées du symbole omnibus « pra », qui n'a aucune valeur mnémonique (puisqu'il n'indique pas explicitement telle ou telle puissance de 10) ajouteraient une autre complication inutile.

Ce que nous jugeons déplorable c'est le mélange d'unités pratiques empruntées à deux systèmes non cohérents entre eux. Si l'on ne veut pas compléter le système volt-ampère-seconde par des unités magnétiques autonomes, il serait préférable de le supprimer du projet du système C. G. S. seul, convenablement aménagé pour suffire à tous les besoins de la pratique.

André Blondel,
Membre de l'Institut.

(1) D'ailleurs dans le système de M. Brylinski l'unité de flux est précisément égal à 10^8 C. G. S. comme nous le demandons ici sous le nom de Weber. C'est d'un heureux augure pour le succès de cette unité qui s'appliqua dans trois systèmes pratiques et qu'on pourrait donc établir sans rien préjuger du choix ultérieur entre eux ; la relation $\Phi = LI$ serait ainsi respectée.

Revues, analyses et informations

Sur un système d'unités mécaniques, électriques et magnétiques.

Sous ce titre M. Paul Janet a présenté, à la séance du 17 novembre 1930 de l'Académie des Sciences (2), une note de M. E. Brylinski dans laquelle sont exposées les bases d'un système d'unités mécaniques, électriques et magnétiques qui serait destiné à être substitué aux systèmes existants pour chacune de ces catégories de grandeurs. Voici d'ailleurs le texte de cette note.

Il existe un système cohérent d'unités mécaniques, électriques et magnétiques, c'est le système C. G. S. Mais ce système, qui s'est largement répandu pour les usages purement scientifiques, n'a jamais pu pénétrer dans la pratique courante, à cause de l'excessive petitesse de certaines de ses unités.

Dès 1881, on a dû établir le système pratique pour avoir des unités électriques d'un emploi commode ; on est, en 1900, revenu au système électromagnétique C. G. S. pour les unités magnétiques, et enfin, en 1919, on a rendu légal en France le système mètre, tonne, seconde. Le système français d'unités se compose ainsi en réalité de trois systèmes distincts, non cohérents entre eux.

Il serait cependant assez facile de mettre sur pied un système unique, donnant pour toutes ces unités de mesure des valeurs d'un emploi commode. Il n'y a pas lieu de modifier le système mécanique légal, car le mètre est de beaucoup l'unité de longueur la plus usuelle, et la tonne s'impose dès lors si l'on veut conserver à la densité de l'eau sa valeur usuelle, qui est 1. L'unité d'énergie de ce système est le kilojoule.

Le système électrique pratique est surtout mal commode par son unité de longueur, le quadrant, dont la valeur résulte de la convention que le système est électromagnétique, c'est-à-dire que la perméabilité magnétique du vide y est prise pour unité de perméabilité.

Si l'on renonce à cette convention, on voit que le maintien du volt comme unité de différence de potentiel fournit un groupe d'unités électriques et magnétiques de grandeur commode.

Dans ce système, les unités électriques seraient le kilojoule, le kilowatt, le volt, le kiloampère, le kilocoulomb, le milliohm, le kilofarad et le millihenry.

Les unités magnétiques auraient les valeurs suivantes :

Unité de flux d'induction	10^8	U. E. M. C. G. S.
Unité d'induction.	10^4	»
Unité de force magnétomotrice.....	10^2	»
Unité de champ.	1	»
Unité de perméabilité.....	10^4	»

Toutes ces unités seraient d'un ordre de grandeur commode ; deux unités existantes seraient conservées, le volt et l'unité de champ magnétique dans le système électromagnétique C. G. S. Les autres unités électriques se déduiraient des unités pratiques par l'unique facteur 1 000, en multiplicateur ou en diviseur, ce qui faciliterait le changement

Pour désigner les nouvelles unités électriques et, si on le jugeait utile, les nouvelles unités magnétiques, on pourrait, suivant une suggestion déjà ancienne de M. A. Blondel, ajouter le préfixe *né* aux noms actuels des unités ; ce préfixe pourrait d'ailleurs tomber au bout d'un délai suffisant pour qu'il n'existe plus aucun appareil gradué suivant les unités actuellement employées.

Enfin, la réforme serait heureusement complétée par l'adoption de préfixes pour désigner 10^9 et 10^{-9}.

(2) E. Brylinski. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 17 novembre 1930, t. CXCI, p. 931-932, 500 mots.

Les particularités de la décharge électrique dans les gaz rares au point de vue de leur application à l'éclairage (1).

On sait que l'application des gaz rares à l'éclairage se généralise de plus en plus. L'auteur expose, dans l'article qui nous occupe, les raisons qui justifient cet emploi; raisons basées sur les propriétés chimiques de ces gaz, d'une part, et sur leurs propriétés électriques, d'autre part, ce qui le conduit à rappeler quelles sont ces propriétés fondamentales qui les rendent si précieux. Il donne d'abord un aperçu de la préparation de ces gaz avant leur introduction dans les tubes.

1. Extraction et préparation des gaz rares. — On désigne sous le nom de « gaz rares » l'hélium, le néon, l'argon, le krypton et le xénon dont la découverte, due à Rayleigh et à Ramsay, s'échelonne de 1895 à 1899. Les quatre derniers gaz se trouvent exclusivement dans l'air et dans les eaux qui ont pu dissoudre les gaz de l'air; l'hélium, qui existe également dans l'air, apparaît aussi comme un produit de désintégration radioactive dans certaines sources de gaz souterrains; c'est ainsi que les champs pétrolifères de Fort Worth et Dalles, aux Etats-Unis, avec une superficie de 70 km², ont dégagé jusqu'à 6000 m³ d'hélium par jour.

Les gaz rares utilisés en Europe proviennent exclusivement de l'air. Un mètre cube d'air contient: 9,325 litres d'argon, 18 cm³ de néon, 5 cm³ d'hélium, 1 cm³ de krypton, 0,09 cm³ de xénon.

Tant que l'extraction de ces gaz est restée dans le domaine du laboratoire, on n'a pu en préparer que de très petites quantités; mais aujourdhui les gaz rares sont des produits dérivés de la fabrication industrielle de l'air liquide. Le développement des emplois de l'oxygène et de l'azote obtenus par distillation fractionnée de l'air liquide a conduit à traiter des quantités d'air de plus en plus considérables. M. Georges Claude a indiqué assez récemment (2) que les grands appareils à oxygène de la Société de l'Air liquide, qui traitent 3000 m³ d'air par heure, sont susceptibles de fournir plusieurs litres de xénon et plusieurs dizaines de litres de krypton par jour. Quant au néon, et surtout à l'argon, c'est déjà par mètres cubes, sous la pression atmosphérique, que pourrait se compter la production journalière.

Comme l'on n'utilise généralement les gaz rares que sous des pressions de l'ordre de celle correspondant à une colonne de mercure de 1 mm, la production actuelle est dès maintenant suffisante et même en avance pour toutes les applications industrielles.

Dans presque toutes leurs applications, il est nécessaire que les gaz rares soient dans un état de pureté extrême; des traces d'impuretés, notamment d'oxygène, de vapeur d'eau, modifient considérablement les phénomènes électriques et optiques. Il importe de faire subir à ces gaz avant leur utilisation un traitement destiné à en assurer la purification. A cet égard, la distillation fractionnée pourra commencer, mais non pousser assez loin, sans pertes exagérées, la séparation. Le charbon de bois refroidi dans l'hydrogène liquide, ou, à défaut, dans l'azote liquide, retient tous les gaz sauf l'hélium, mélangé à un peu de xénon. Pour obtenir les autres gaz il y a intérêt à opérer par voie chimique, en absorbant l'azote et l'oxygène notamment par le calcium chauffé au rouge, l'hydrogène par l'oxyde de cuivre, la vapeur d'eau par l'anhydride phosphorique.

Dans l'emploi des gaz rares, il ne suffira pas de les introduire purs dans les appareils d'utilisation. Les parois des tubes lumineux, par exemple, ou leurs électrodes, dégagent des gaz, dont il faut se débarrasser soit par chauffage prolongé sous le vide, soit en faisant travailler les tubes, au début, sous un régime plus intensif que celui de l'utilisation normale, et en pompant les gaz dégagés avant de procéder à un nouveau remplissage, soit, enfin, en introduisant dans les appareils eux-mêmes des substances chimiques telles que des métaux alcalins ou alcalino-terreux, susceptibles d'absorber les impuretés au fur et à mesure de leur dégagement. Par fonctionnement, la purification se parachève grâce, sans doute, à la grande activité chimique des gaz usuels, à l'état ionisé, qui facilite leur combinaison avec les parties métalliques des appareils.

2. Raisons chimiques de l'emploi des gaz rares. — Si l'on compare les gaz rares aux gaz usuels, au point de vue de la décharge électrique, on constate que pour les gaz usuels la pression à l'intérieur du tube doit être très faible, de l'ordre de celle correspondant à une colonne de mercure de 0,1 mm de hauteur. tandis que cette pression peut être 10 fois plus grande, dans le cas des gaz rares. De plus, comme il est dit plus haut, les gaz usuels se combinant facilement, grâce à leur ionisation sous l'action du champ électrique, avec les parties métalliques de l'appareil. tendent à disparaître, d'où la nécessité de prévoir le remplissage régulier du tube pendant le fonctionnement. Les gaz rares, au contraire, sont chimiquement inertes et, même sous l'action de la décharge, ne donnent lieu à aucune combinaison chimique stable : cette cause d'absorption disparait donc. Ajoutons qu'il y a d'autres causes d'absorption, telles que la pulvérisation des électrodes qui emprisonnent des gaz occlus.

3. Raisons électriques de l'emploi des gaz rares. — Ici encore, la comparaison des propriétés des gaz rares et des gaz usuels est tout à l'avantage des premiers. D'abord dans des tubes de mêmes dimensions, même longueur et même diamètre. il est possible de provoquer et d'entretenir la décharge dans les gaz rares sous des tensions beaucoup plus faibles que dans les gaz usuels. Les causes de ce phénomène sont dues aux deux particularités suivantes : 1° les gaz rares dépourvus d'affinités chimiques sont également dépourvus d'affinité électronique, de telle sorte que dans les gaz rares parfaitement purs les électrons restent libres; 2° les gaz rares sont monoatomiques.

Voici comment on peut se rendre compte, tout au moins de façon qualitative, de l'importance de ces deux caractères. On sait que les courants à travers les gaz sont des courants de convection. Les charges électriques associées à des particules matérielles se déplacent sous l'action du champ établi entre les électrodes. Dans tous les gaz, les ions positifs sont de grandeur moléculaire; ce sont des molécules, éventuellement monoatomiques, auxquelles un ou plusieurs électrons ont été arrachés. Les particules négatives, au contraire, peuvent être, suivant la nature du gaz, les conditions de champ et de pression, soit des électrons libres, soit des ions négatifs résultant de la fixation d'un électron sur une molécule neutre.

La permanence ou la disparition des électrons, dont les dimensions sont négligeables vis-à-vis de celles des ions, et dont la masse est au moins 1800 fois plus petite, est de nature à modifier considérablement les conditions de la décharge.

(1) Marcel Laporte. *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 15 octobre 1930, t. XLI, p. 543-548, 3500 mots, 2 figures.

(2) Georges Claude; Sur l'extraction du krypton et du xénon de l'air et des gaz dissous dans l'eau. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 8 octobre 1928, t. CLXXXVII, p. 581-585.

Or, on sait actuellement que si, dans tous les gaz, les électrons sont susceptibles de rester libres, pour des valeurs suffisantes du rapport $\frac{X}{p}$, X étant l'intensité du champ électrique et p, la pression (1), la valeur de ce rapport à partir de laquelle les électrons cessent de se fixer sur les atomes du gaz dépend dans une large mesure de la nature du gaz. Les gaz rares ne présentent précisément aucune affinité électronique, les électrons y demeurent libres, même sous des pressions élevées de l'ordre de la pression atmosphérique et sous des champs faibles.

On sait, d'autre part, que l'établissement de la décharge dans un gaz est lié à l'établissement de l'ionisation par choc, et que l'ionisation par choc, par les électrons, exige des champs beaucoup moins intenses que l'ionisation par choc, par les ions positifs ou négatifs, de dimensions moléculaires.

On conçoit donc que la permanence d'électrons libres, dans les gaz rares, permette d'obtenir, même sous pression élevée, des phénomènes qui ne se produisent, dans les autres gaz, notamment dans les gaz électronégatifs, que sous des pressions beaucoup plus faibles ou dans des champs beaucoup plus intenses.

Le manque d'affinité électronique des gaz rares est lié, comme leur manque d'affinité chimique, à la constitution électronique de la couche optique de leurs atomes. Tous présentent une couche périphérique complète : 2 électrons K dans l'hélium, 8 électrons L, M, N ou O dans le néon, l'argon, le krypton et le xénon.

Le caractère monoatomique des gaz rares est également une particularité propre à faciliter l'établissement de la décharge sous basse tension.

Pour que débute en effet l'ionisation par choc, il est nécessaire que les électrons acquièrent, sous l'action du champ, une énergie cinétique minimum égale à eV_i, e étant la charge de l'électron et V_i, le potentiel d'ionisation du gaz. Or, lorsque des électrons se déplacent dans un gaz, une fraction plus ou moins importante de l'énergie qu'ils possèdent à l'instant du choc peut être communiquée à la molécule rencontrée. Si, à chaque choc, l'électron perd une fraction importante de son énergie, on conçoit qu'il ne pourra acquérir l'énergie minimum nécessaire pour que le choc soit efficace à l'ionisation que dans des champs très intenses ou sous très basse pression. Inversement, si à chaque choc, l'électron ne perd qu'une faible fraction de son énergie, il pourra accumuler de l'énergie au cours de plusieurs parcours successifs, jusqu'à atteindre l'énergie nécessaire à l'ionisation. Dans aucun gaz, les pertes d'énergie par choc non ionisant ne sont nulles, mais elles sont minima dans les gaz monoatomiques, et par suite dans les gaz rares.

Il a été établi que les chocs sont parfaitement élastiques et l'on peut calculer, dans ces conditions, que le rapport de l'énergie perdue par l'électron dans le choc à l'énergie possédée à l'instant du choc est $\frac{2m}{M}$, m étant la masse de l'électron, et M, celle de l'atome rencontré, soit de l'ordre de 0,1.

Ces considérations permettent d'expliquer pourquoi des traces d'impuretés modifient complètement les conditions de la décharge. On peut en effet calculer, dans l'hypothèse des chocs élastiques, que la longueur réelle l, du chemin que parcourt en des zigzags compliqués un électron qui progresse d'une longueur x dans la direction du champ est $l = \frac{x^2}{\lambda}$, λ étant le libre parcours moyen, et que le nombre de chocs n qu'il subit le long de ce parcours est $n = \frac{x^2}{\lambda^2}$. Si on applique ces formules à un parcours de 1 m, dans un tube contenant du néon sous une pression correspondant à celle d'une colonne de mercure de 5 mm, on trouve que la longueur réelle des parcours de l'électron est de 10 km et que, dans ce parcours en zigzag, il a subi environ 100 millions de chocs ; si on envisage alors une impureté dont la pression propre serait seulement celle correspondant à une colonne de mercure de 1/2000 millimètre de hauteur, soit dix mille fois plus petite que celle du néon, l'électron subira encore dix mille chocs avec les molécules de l'impureté ; il aura donc de grandes chances d'être capté, surtout s'il s'agit d'un gaz fortement électronégatif.

Plus la pression sera grande, plus long sera le parcours en zigzag de l'électron, plus nombreux, les chocs avec les molécules de gaz étranger, et par suite plus l'influence des impuretés, à proportions égales, sera importante.

Parmi les gaz rares, le plus remarquable à bien des points de vue, celui qui a, par exemple, la plus faible cohésion diélectrique, est le néon.

Cette propriété peut surprendre, si on remarque que le potentiel d'ionisation du néon est supérieur à celui des gaz plus lourds, comme le montrent les nombres suivants :

Gaz.....	He	Ne	A	Kr	Xe
V_i, en volts.....	24,5	21,5	15,7	13,9	12,0

On peut, sans doute, rattacher cette propriété particulière du néon à une autre, qui est le faible « rendement d'excitation » par chocs électroniques dans ce gaz.

Il a été dit que, dans les gaz rares, les chocs d'un électron de faible énergie cinétique étaient partaitement élastiques ; ce caractère des chocs peut cesser avant que l'électron possède l'énergie d'ionisation dès qu'il a acquis l'énergie suffisante pour exciter par choc les atomes du gaz, c'est-à-dire pour déplacer de leur niveau normal un électron périphérique de l'atome et l'amener sur un niveau d'énergie plus élevé.

Il existe, pour chaque gaz, une suite de potentiels critiques, correspondant aux différentes excitations possibles ; voici pour les différents gaz rares les potentiels critiques les plus faibles.

Gaz	He	Ne	A	Kr	Xe
Potentiels critiques minima, en volts.	19,7	16,5	11,5	9,9	8,3

Dès que l'électron a atteint une énergie critique, correspondant à ces potentiels critiques, il peut perdre cette quantité d'énergie, en provoquant l'excitation de l'atome rencontré. Cette éventualité, très fréquente dans les différents gaz rares, notamment dans les gaz lourds, l'est beaucoup moins dans le néon ; l'on conçoit donc que les électrons, non ralentis par ces chocs mous, puissent, dans le néon, atteindre plus facilement l'énergie nécessaire à l'ionisation par choc, ce qui permet le déclenchement de la décharge.

Nous donnons dans le tableau I des résultats qui permettent de se rendre compte de la différence entre le néon et les autres gaz ; ces résultats sont déduits des courbes que donne l'auteur, à simple titre d'indication en faisant remarquer que l'on trouve dans la littérature relative à ces questions des nombres très divergents. Les courbes en question représentent la variation du potentiel disruptif, ou tension d'allumage d'un appareil à décharge à électrodes planes, en

(1) C'est ce qui arrive par exemple dans le tube de Crookes (à rayons cathodiques).

fonction du produit de la distance *d* entre électrodes, en millimètres, par la pression *p*, exprimée en hauteur, en millimètres, de la colonne de mercure de pression correspondante.

TABLEAU I. — *Valeurs du potentiel disruptif de quelques gaz en fonction du produit pd*

NÉON		HÉLIUM		AIR		ANHYDRIDE CARBONIQUE		HYDROGÈNE	
Tension d'allumage volts	*pd* mm-mm	Tension d'allumage volts	*pd* mm-mm	Tension d'allumage volts	*pd* mm-mm	Tension d'allumage volts	*pd* mm-mm	Tension d'allumage volts	*pd* mm-mm
280	10	280	20	1 600	0,8	1 600	0,8	1 600	3
195	20	230	30	1 200	1	1 000	1	800	4
186	30	225	40	500	2	500	2	400	6
188	40	230	60	320	4	410	4	300	8
242	120	288	120	400	14	405	5	280	10
300	200	325	160			410	6	280	14
						600	20	300	18

4. FONCTIONNEMENT DES TUBES A GAZ RARES. — Dès qu'un tube est allumé, des charges spatiales s'y établissent, qui modifient la répartition du champ; en même temps, la tension aux électrodes baisse brusquement. Dans la colonne positive, il s'établit un gradient de potentiel qui dépend de la nature du gaz, de la pression, de l'intensité du courant et du diamètre du tube. Dans le néon, ce gradient est de l'ordre du volt par centimètre; il est plus faible dans les gaz plus lourds.

En régime luminescent, il s'établit une chute importante de potentiel à la cathode. La chute cathodique normale dépend de la nature des électrodes et de celle du gaz; c'est encore dans les gaz rares qu'elle est minimum; voici quelques valeurs de cette chute de tension, en volts :

Electrodes.	O^2	N^2	Air	H^2	He	Ne	A	Cl^2
Al	311	179	229	171	141	120	1?0	2?0
Fe	343	215	209	198	161		131	
Na		178		185	80	75		

En régime d'arc, la chute cathodique est considérablement diminuée. Le régime d'arc peut être obtenu au moyen de cathodes incandescentes. On réalise ainsi des tubes susceptibles de fonctionner directement sous les tensions normales de distribution.

La partie utile de la décharge est presque toujours la colonne positive; les gaz rares étant monoatomiques, ils émettent un spectre de raies.

Suivant le mode d'excitation, on peut obtenir soit les spectres d'arc, soit les spectres d'étincelles de différents ordres. Les spectres d'arc des gaz rares sont parmi les mieux connus (1). Au point de vue de l'éclairage, celui du néon est de beaucoup le plus intéressant. Les séries principale ($_1smp$) et les premières séries secondaires ($_2pmd$), présentent un grand nombre de raies extrêmement brillantes dans le rouge, l'orangé et le jaune, qui donnent aux tubes au néon leur coloration rouge orangé caractéristique.

Après le néon, le spectre le plus brillant, surtout sous basse pression est celui de l'hélium, qui ne contient que quelques raies, mais assez bien réparties dans le spectre visible, notamment la raie jaune de 5 875 Å; la lumière des tubes à hélium est d'un blanc un peu saumon.

Les spectres d'arc de l'argon, du krypton et du xénon sont très peu lumineux. Il en est tout différemment des spectres d'étincelle. Celui du xénon notamment, que l'on obtient très facilement, en intercalant, par exemple, le tube au xénon dans un circuit oscillant à étincelles, est riche en raies brillantes et donne une lumière blanche assez vive.

On a cherché à enrichir la gamme des colorations des tubes luminescents et, en particulier, à obtenir de la lumière pratiquement blanche.

Les colorations des tubes peuvent être modifiées de plusieurs façons; d'abord par l'emploi de pressions différentes, ce qui modifie les intensités relatives des raies, ensuite par des mélanges de gaz ou de vapeurs. C'est ainsi que la présence de mercure dans un tube à argon fait apparaître brillamment les raies du mercure, tandis que celles de l'argon disparaissent. Un tube contenant du néon et quelques gouttes de mercure apparaît alternativement bleu et rouge dans des segments alternativement de grands et de petits diamètres.

La théorie des chocs de seconde espèce permet d'expliquer ces phénomènes et constitue un guide très sûr pour les prévoir. Les chocs de seconde espèce présentent dans les gaz rares une importance considérable, du fait de l'existence dans ces gaz d'états métastables d'énergie élevée; ce sont pour l'hélium les niveaux $2S_0$ du parahélium (20,5 v), et 2^3S_1 de l'orthohélium (19,77 v), pour les autres gaz les niveaux $_2s_3$ (notation de Paschen).

Sur la base de la théorie de Klein et Rosseland sur les chocs de seconde espèce, on peut énoncer la règle suivante que l'expérience vérifie constamment : lorsqu'on ajoute, même en petites quantités, un gaz quelconque dans un tube à gaz rare, l'on obtient le spectre du gaz d'appoint tandis que le spectre du gaz rare tend à disparaître, toutes les fois que le gaz d'appoint a un potentiel d'ionisation inférieur au potentiel d'excitation de l'état métastable du gaz rare.

La disparition du spectre du gaz rare est d'autant plus complète (à proportions de gaz égales) que la pression du mélange est plus élevée, que l'intensité du courant est plus faible et que le diamètre des tubes est plus grand.

Le mélange des gaz rares suit la même règle. Le mélange d'hélium et de néon apporte une solution très intéressante au problème de la lumière blanche.

« Des progrès considérables sont en voie d'accomplissement, conclut l'auteur, et le temps n'est sans doute pas éloigné où, dans des conditions de rendement équivalentes à celles des lampes à incandescence, les tubes à gaz nous fourniront un nouveau moyen d'éclairage riche de possibilités utiles et décoratives. — A. C.

(1) Ceux du krypton et du xénon qui étaient encore à analyser viennent de l'être au Bureau of Standards de Washington.

Photomètre photoélectrique à lecture directe pour l'essai des lampes à incandescence (1).

1. Introduction. — Les mesures effectuées dans des laboratoires photométriques ont montré l'impossibilité d'obtenir une précision supérieure à celle qui correspond à une erreur de ± 2 pour 100, dans les essais de lampes qui sont effectués par des méthodes visuelles sur un très grand nombre d'unités, par exemple dans les fabriques de lampes. Souvent même, en raison des méthodes utilisées, l'erreur est supérieure à 4 pour 100. En l'état actuel du développement de cette industrie, ces résultats sont insuffisants et on s'est efforcé de mettre au point un appareil qui permettrait d'atteindre une précision plus élevée, tout en rendant les mesures plus aisées.

Le problème paraît avoir été résolu par l'application de méthodes photoélectriques de mesures, utilisant des cellules à atmosphère gazeuse qui donnent un courant plus intense que les cellules à vide.

D'autre part, la substitution d'un intégrateur cubique à un intégrateur sphérique a seule permis de mettre au point un appareil de construction assez économique pour remplir le but que l'on s'était proposé. Des mesures très soignées ont montré que cette substitution n'entraînait qu'une erreur supplémentaire de 0,25 pour 100 dans les mesures faites sur les lampes à vide à filament en tambour et de 1 pour 100 environ dans celles qui concernent les lampes à atmosphère gazeuse avec filament boudiné. Une telle approximation est bien acceptable pour des mesures industrielles et il est d'ailleurs facile de l'augmenter, dans les cas spéciaux où cela est nécessaire en conservant à l'intégrateur sa forme sphérique.

2. Premières réalisations. — Un premier appareil fut réalisé, d'après les principes indiqués, par Sharp. Dans ce modèle, un miroir tournant renvoyait alternativement sur la cellule photoélectrique la lumière provenant de la glace dépolie d'une chambre intégrante et celle qui était émise par la lampe de comparaison. La cellule photoélectrique était montée sur la grille d'une lampe à trois électrodes faisant partie d'un pont de mesures à amplificateur, suivant le schéma de la figure 1. Le courant alternatif produit par les fluctuations de lumière atteignant la cellule était redressé au moyen d'un commutateur tournant monté sur le même axe que le miroir tournant. Celui-ci était d'abord entraîné, à la vitesse de 200 t : mn, par un petit moteur électrique; mais, bien qu'on eût enfermé ce dernier dans une boîte métallique reliée au sol, il se produisit des perturbations sur l'amplificateur, entraînant des sauts brusques de l'aiguille du galvanomètre; aussi, par la suite, remplaça-t-on le moteur électrique par une petite turbine à air comprimé.

Les résultats obtenus avec ce premier appareil ne furent pas très encourageants; il était difficile de réduire l'erreur sur les mesures à ± 1,5 pour 100 pour des lampes à vide de 20 à 100 W. En effet, les lectures des indications du galvanomètre étaient rendues pénibles par suite de la présence du commutateur tournant; d'autre part, la graduation de l'appareil au point de vue photométrique ne pouvait être faite exactement.

Un deuxième appareil fut donc mis au point dans lequel les deux difficultés précédentes étaient évitées. En principe, il se composait de deux chambres d'intégration contenant respectivement en leur centre la lampe essayée et la lampe de comparaison et réunies par une chambre cubique de plus petites dimensions, contenant en son centre la cellule photoélectrique. L'ensemble était disposé symétriquement, de telle sorte que la cellule était placée sur la droite joignant les centres des deux lampes. Deux écrans semi-circu-

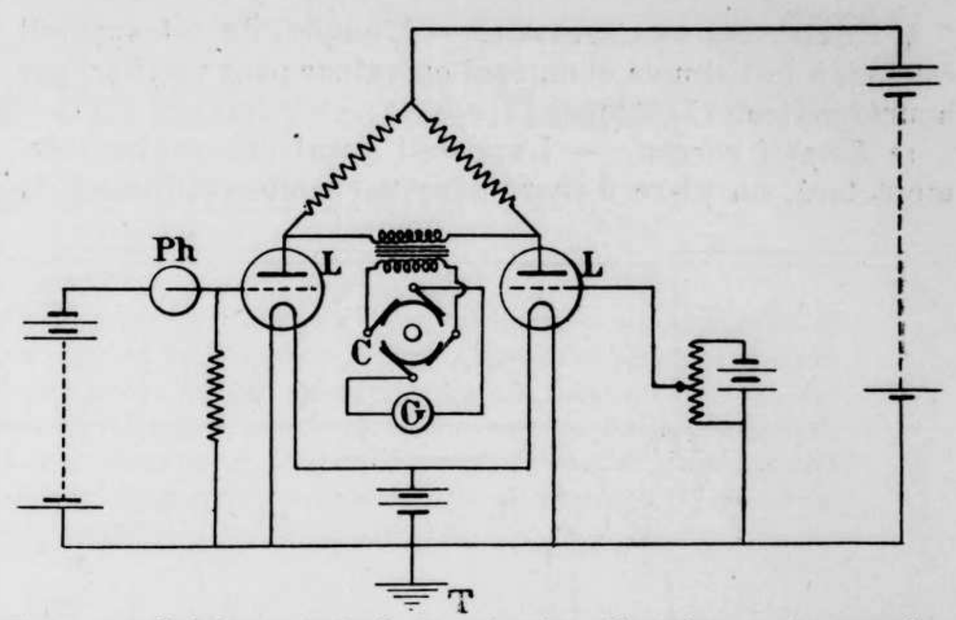


Fig. 1. — Schéma général des circuits électriques du premier modèle d'appareil réalisé : C, commutateur tournant; G, galvanomètre; L, lampes à trois électrodes; Ph, cellule photoélectrique; T, terre

laires, décalés de 180° et montés sur le même axe, permettaient l'illumination successive de la cellule par l'une et l'autre chambre diffusante.

Les résultats ont été un peu supérieurs à ceux qu'avait donnés le premier type d'appareil; ils furent cependant encore jugés insuffisants et on procéda à la réalisation d'un troisième modèle.

3. Appareil définitif. — Celui-ci ne comporte plus qu'une chambre intégrante accolée à la chambre qui contient la cellule photoélectrique. Par suite de l'emploi de cellules photoélectriques pour lesquelles le courant est proportionnel à l'illumination, il ne fut plus nécessaire d'opérer

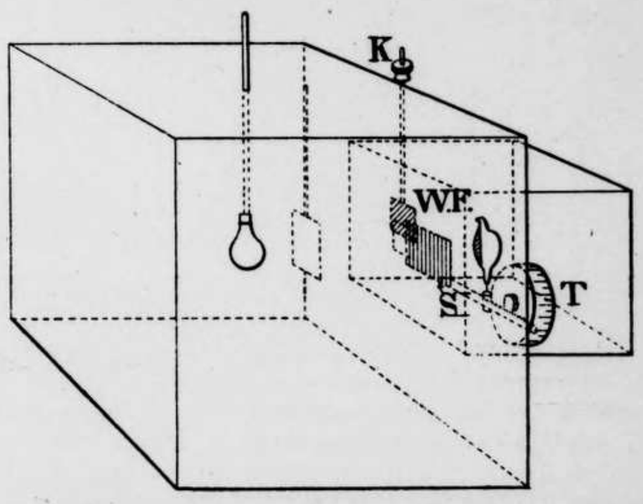


Fig. 2. — Disposition schématique de l'appareil définitif; WF, filtre coloré manœuvré par le bouton K; S, écran manœuvré par le tambour T.

par comparaison et on put employer une méthode de substitution, ce qui permit de simplifier considérablement l'appareil représenté schématiquement en figure 2. Pour faciliter le réglage, un écran S manœuvré par le tambour T et se déplaçant horizontalement fut placé devant la fenêtre de la chambre diffusante; on installa, d'autre part, un filtre coloré WF, manœuvrable dans le sens vertical au moyen

(1) G.-T. Winch. *The Journal of the Institution of electrical Engineers*, mai 1930, t. LXVIII, p. 533-543, 3 500 mots, 11 figures, 2 tableaux.

de la vis K; le rôle de cet écran est indiqué ci-après. Le pont de mesure, la cellule et le galvanomètre furent montés suivant le schéma de la figure 3.

On voit, sur la figure 4, la disposition réelle qui a été donnée aux divers éléments de l'appareil définitif, dont la chambre diffusante est ici représentée ouverte.

4. Utilisation de l'appareil. — L'emploi de cet appareil est tout à fait simple et un seul opérateur peut vérifier, par heure, environ 150 lampes.

1° *Emploi normal.* — L'appareil ayant été convenablement taré, on place d'abord dans la chambre diffusante la

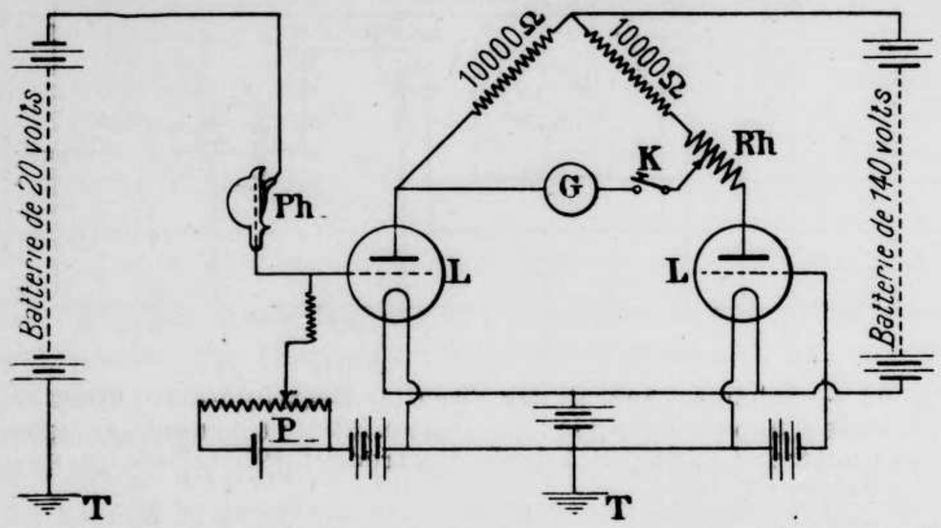


Fig. 3. — Schéma général des circuits électriques de l'appareil définitif : G, galvanomètre; K, clé de galvanomètre; L, lampes à trois électrodes; P, potentiomètre; Ph, cellule photoélectrique: Rh, rhéostat de tarage; T, terre.

lampe de comparaison que l'on fait fonctionner à la tension voulue. On règle alors la position de l'écran S pour que le

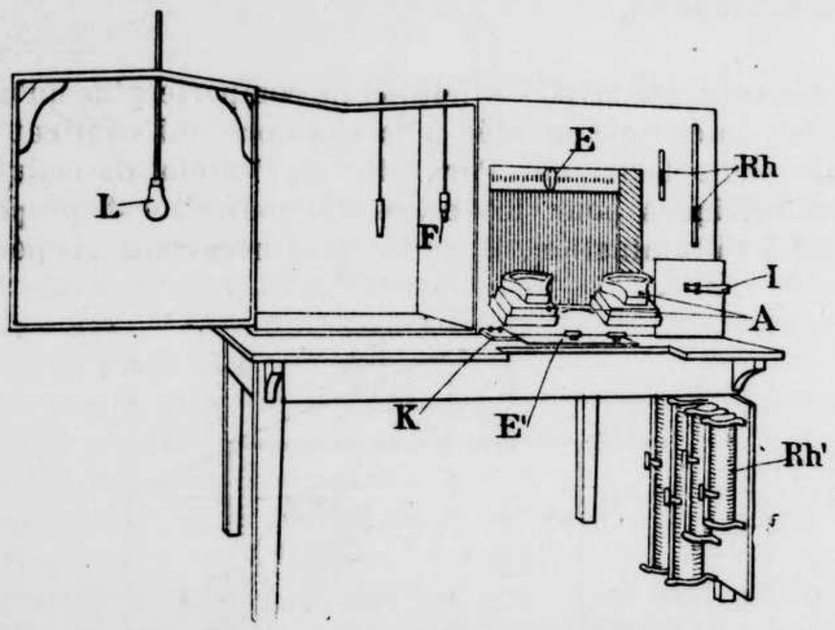


Fig. 4. — Disposition effective des éléments dans l'appareil réalisé : A, appareils de mesure du courant d'alimentation des lampes (voltmètre et ampèremètre); E, échelle du galvanomètre; E', échelle du potentiomètre; F, filtre coloré; I, interrupteur du courant d'alimentation de la lampe; K, clé du galvanomètre; L, lampe en essai; Rh, rhéostats pour le tarage des circuits; Rh', rhéostats pour le réglage du courant d'alimentation des lampes.

galvanomètre indique exactement, sur l'échelle du potentiomètre, graduée en lumens, le nombre qui doit correspondre à cette lampe « type ».

Le photomètre est alors prêt pour des mesures sur des lampes à filament dans le vide ou en atmosphère gazeuse depuis 80 jusqu'à 1 500 lumens. Il suffit de remplacer la lampe type par les lampes à essayer en ramenant, pour chacune d'elles, le galvanomètre au zéro par le réglage du potentiomètre et en lisant, chaque fois, la position de ce dernier sur l'échelle.

Par une fermeture convenable de la fenêtre au moyen de l'écran S, on peut d'ailleurs faire des mesures sur une échelle double et, par suite, étendre la gamme des mesures jusqu'à 3 000 lumens.

Comme le fonctionnement de la cellule utilisée n'est pas le même suivant la « couleur de température équivalente » des lampes essayées (2 350°C pour les lampes à vide et 2 700°C pour les lampes en atmosphère gazeuse de faible puissance), on ne pouvait exécuter de mesures précises sur l'un de ces types de lampes lorsque l'appareil avait été réglé pour l'autre. La difficulté a été levée par l'emploi d'un filtre coloré de composition convenable WF (fig. 2) qui a été mentionné plus haut.

2° *Tarage de l'appareil.* — Dans ces conditions, le tarage de l'appareil se fait de la façon suivante :

On utilise deux lampes types à une tension telle qu'elles émettent toutes deux sensiblement le même flux lumineux, mais avec des couleurs de température équivalente de 2 350°C et 2 700°C respectivement. Le filtre coloré WF est alors réglé en position jusqu'à ce que les deux lampes donnent l'une et l'autre l'équilibre du galvanomètre pour une position du potentiomètre correspondant exactement à leur puissance lumineuse. Le potentiomètre est alors remis au zéro et l'équilibre du galvanomètre, réalisé en agissant sur le curseur du rhéostat Rh (fig. 3) pendant que la cellule est dans l'obscurité. A ce moment, l'appareil est susceptible d'être utilisé comme il est indiqué ci-dessus pour l'emploi normal.

5. Résultats obtenus. — On trouve dans l'article original des tableaux donnant le détail des résultats obtenus pour un certain nombre de mesures, à la fois au moyen de l'appareil qui vient d'être décrit et en utilisant la méthode de mesure photométrique ordinaire. Une seule observation fut effectuée avec l'appareil photoélectrique; au contraire, les mesures photométriques ont été obtenues en employant deux opérateurs exercés, chacun d'eux procédant à quatre observations, et en prenant la moyenne des résultats. L'écart entre les mesures par les deux méthodes est de l'ordre de 0,3 pour 100, la plus faible erreur relevée étant de 0,03 pour 100 et la plus forte, de 0,90 pour 100.

Etant donné la précision recherchée pour les mesures visuelles qui ont servi de comparaison, on voit tout de suite le grand intérêt d'un appareil vraiment industriel qui donne, en une seule lecture, des résultats d'une précision équivalente.

De plus, les tâtonnements et la fatigue visuelle inhérents aux dispositifs photométriques usuels sont complètement éliminés, tandis que la vitesse d'exécution des mesures est accrue. L'appareil réalisé a d'ailleurs, d'après l'auteur, assuré d'une façon entièrement satisfaisante un service régulier de vérification de lampes. Toutefois, il est nécessaire de prendre certaines dispositions relatives à la protection de l'appareillage employé, contre les perturbations de nature électrique. D'autre part, l'isolement de la cellule photoélectrique et des circuits de grille doit être particulièrement soigné.

L'emploi des batteries d'accumulateurs doit être préféré à celui des piles sèches au point de vue de la constance des résultats. Enfin l'auteur recommande de faire usage de lampes à trois électrodes du type D. E. 5 B. avec filament alimenté sous la tension de 4 v afin d'obtenir dans les mesures un degré de précision élevé. — B. E.

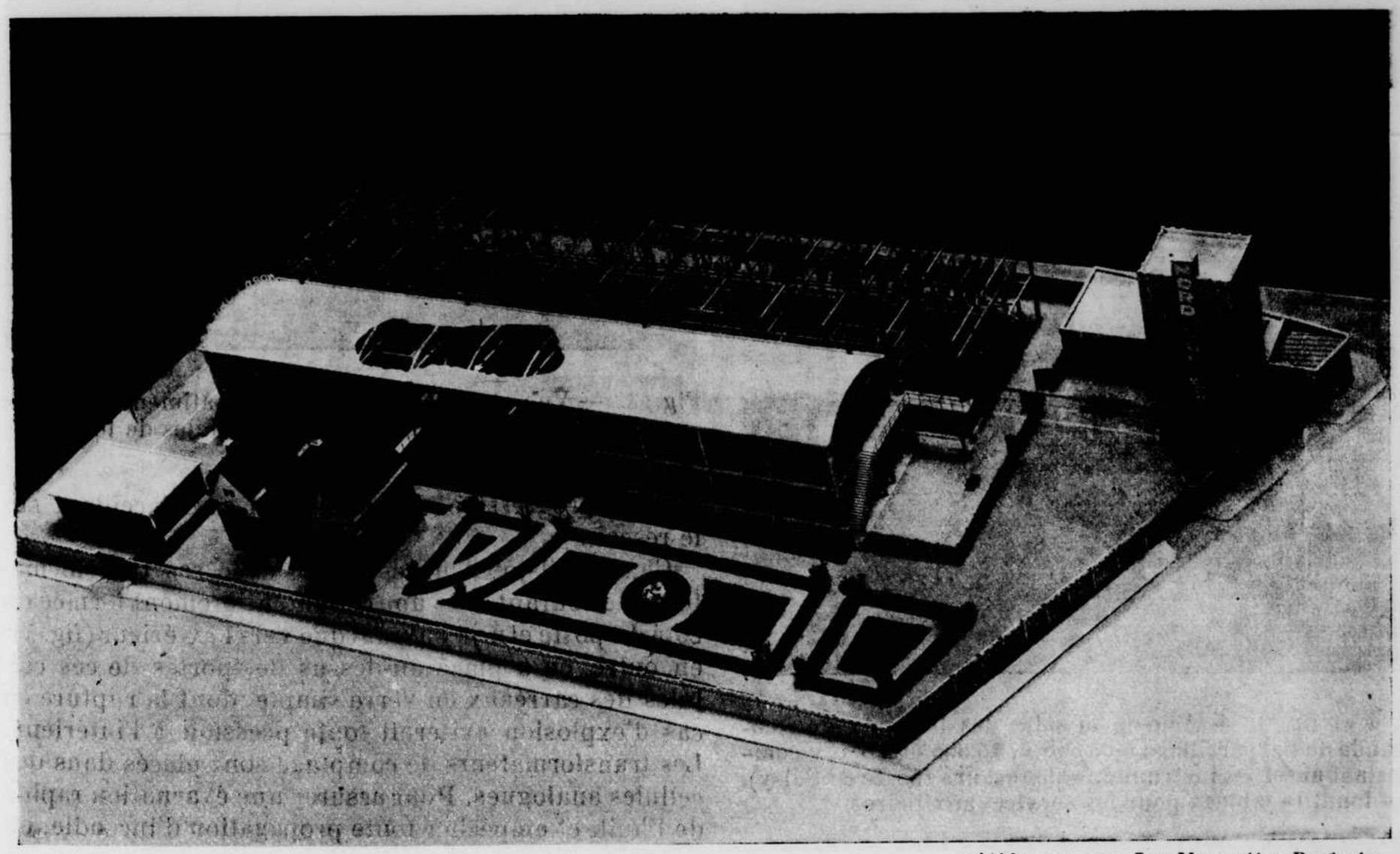
SECTION INDUSTRIELLE

Les postes de transformation de Soisy-sous-Montmorency et de Trie-Château du Nord-Lumière

Les deux postes de transformation qui font l'objet de cet article sont destinés à abaisser à 5500 volts ou à 15000 volts, pour la distribution sur le réseau du Nord-Lumière, la tension de 60000 volts de l'énergie fournie en courant triphasé par l'usine génératrice de Gennevilliers, de l'Union d'Electricité. Après avoir indiqué les dispositions générales adoptées pour le poste de Soisy, l'auteur donne la spécification du matériel qui en constitue l'équipement. Il traite ensuite du poste de Trie-Château, plus sommairement, celui-ci présentant beaucoup d'analogies avec le précédent ; seules les quelques différences de détail sont mises en évidence.

I. **Introduction.** — L'Union d'Electricité, par son usine de Gennevilliers, alimente un certain nombre de grands postes de transformation régionaux du Nord-Lumière établis dans les départements de la Seine, de Seine-et-Oise et de l'Oise. Ces postes sont répartis sur les réseaux du Nord-Lumière pour obtenir, dans les régions desservies, un service sans interruption et une tension constante, afin de satisfaire les abonnés dans la plus large mesure.

La fréquence a été partout unifiée à 50 p:s. La tension d'alimentation de ces postes, par l'usine de Gennevilliers, est de 60000 v en courant triphasé; de Gennevilliers partent des feeders souterrains ou aériens, suivant les cas, qui relient cette usine auxdits postes. Chacun de ces derniers est alimenté par deux feeders au minimum; les feeders aériens constituent dans tous les cas des boucles.



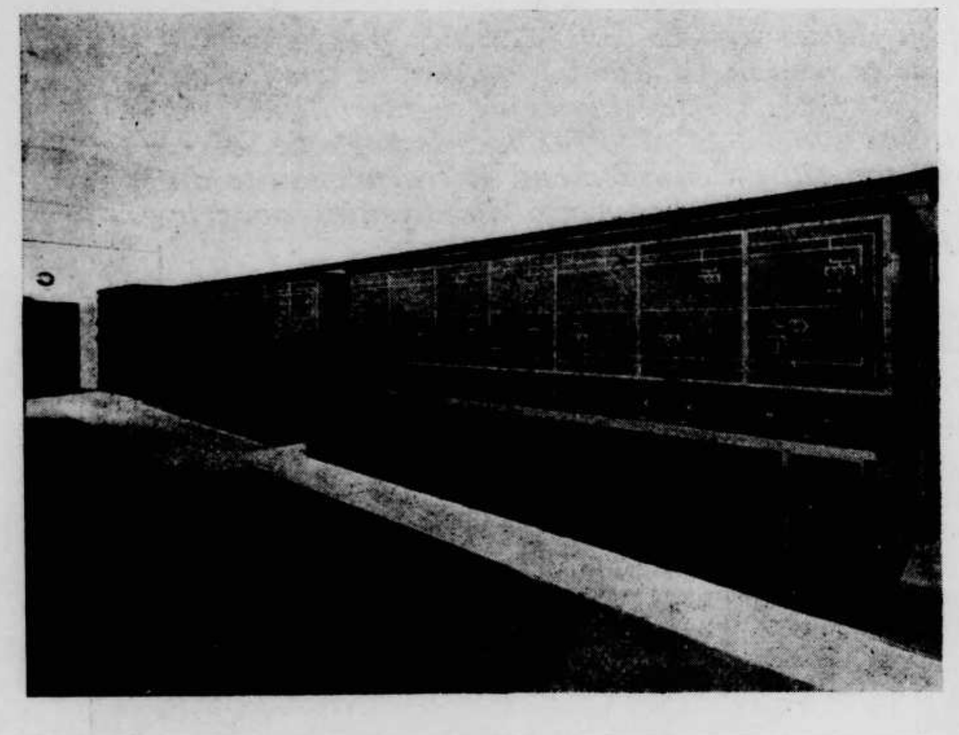
ociété anonyme Les Maquettes Perfecta.

Fig. 1. — Vue de la maquette du poste de transformation de Soisy-sous-Montmorency sur le réseau du Nord-Lumière.

Récemment encore, ces postes étaient au nombre

de huit : Asnières, Courbevoie, Saint-Ouen, Romainville, Argenteuil, Creil, Beauvais, Puiseux (près Pontoise). Tout dernièrement leur nombre s'est augmenté de deux unités : Soisy-sous-Montmorency (Seine-et-Oise) et Trie-Château (Oise).

II. **Dispositions générales du poste de Soisy.** — Situé à Soisy, en bordure de la rue de Paris, à une petite distance de la gare d'Enghien-les-Bains, il occupe un terrain d'une superficie de 5800 m² dont une partie importante a été utilisée pour la construction du poste; il reste donc la possibilité d'en accroître l'importance



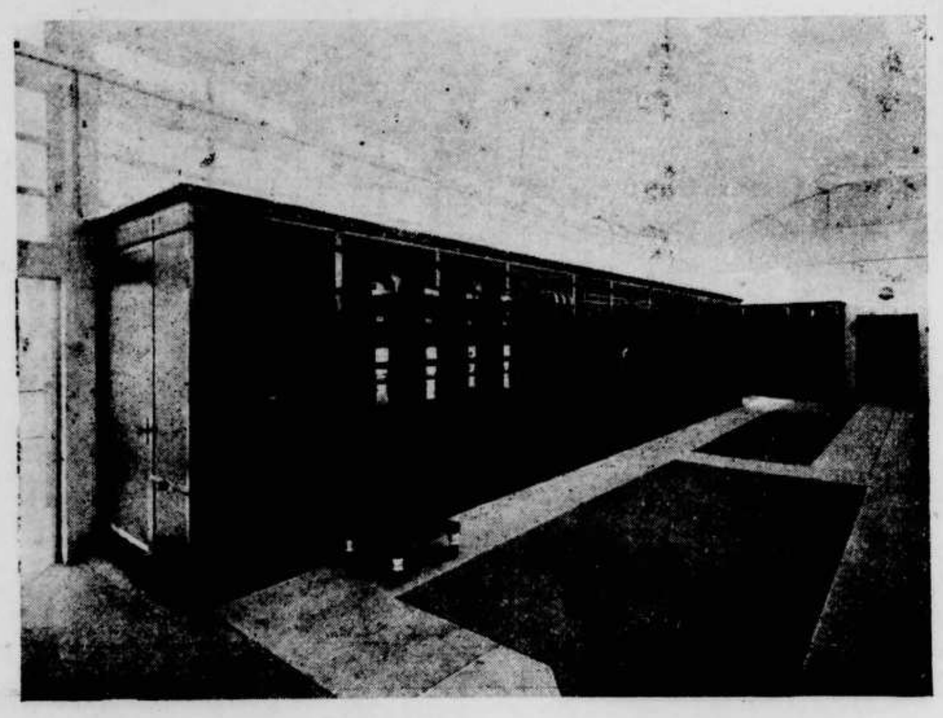


Fig. 2 et fig. 3. — Vue de la salle des tableaux de commande de l'appareillage à 60 000 v, 15 000 et 5 500 v comportant aussi les instruments de mesure (poste de Soisy). Au fond, le tableau pour les services auxiliaires.

dès que le besoin s'en fera sentir. Le poste lui-même comprend (fig. 1) un bâtiment principal, un portique, une tour de démontage et un bâtiment pour le traitement des huiles.

1. Batiment principal. — Ce bâtiment, en ciment armé, de 70 m de longueur sur 12 m de largeur, est composé d'un rez-de-chaussée et d'un premier étage. Il est divisé en trois parties : dans la partie médiane du premier étage sont installés les tableaux de distribution à haute et à moyenne tension et des services auxiliaires (fig. 2 et fig. 3). Les parties extrêmes du premier étage abritent, l'une un double jeu de barres bouclées et des cellules de départ de câbles pour l'alimentation des réseaux triphasés à 5500 v (fig. 4); l'autre, un double jeu de barres analogue et des cellules de départ de câbles pour l'alimentation des réseaux triphasés à 15000 v. Au rez-de-chaussée se trouvent, dans la partie médiane, une batterie d'accumulateurs, pour l'alimentation des services de signalisation et de l'éclairage de secours, et les groupes de charge de ladite batterie. Les deux parties extrêmes du rez-de-chaussée abritent les têtes de câbles à 5500 v et 15 000 v, les interrupteurs commandant chacun de ces câbles et le jeu de barres auxiliaires permettant la mise sous

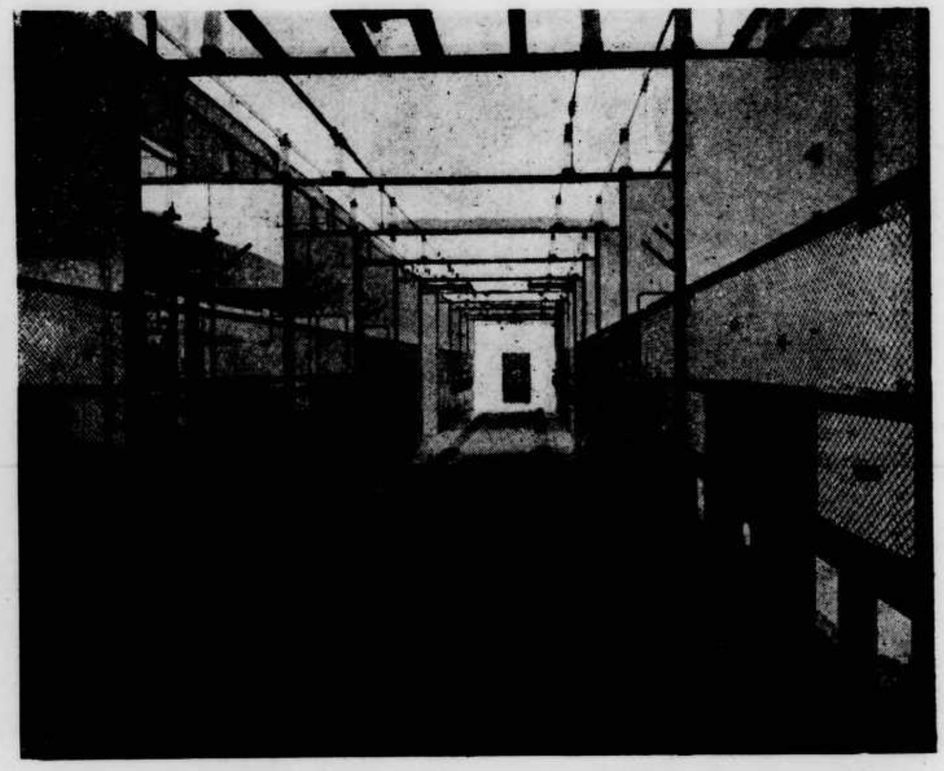


Fig. 4. — Vue du premier étage du bâtiment du poste de Soisy : barres de distribution et cellules de feeders.

tension progressive des câbles en cas d'accident sur le réseau.

Chaque disjoncteur est placé avec ses transformateurs de courant dans une cellule entièrement fermée du côté du poste et ne s'ouvrant que vers l'extérieur (fig. 5); en outre, on a placé au-dessus des portes de ces cellules des carreaux en verre simple dont la rupture en cas d'explosion éviterait toute pression à l'intérieur. Les transformateurs de comptage sont placés dans des cellules analogues. Pour assurer une évacuation rapide de l'huile et empêcher toute propagation d'incendie, on a donné au sol de chaque cellule une certaine pente du bas de laquelle part un large tuyau raccordé à une canalisation générale placée dans le sol.

2. Portique. — Le portique (fig. 6), en ciment armé centrifugé, supporte un double jeu de barres à 60 000 v avec les sectionneurs permettant de les couper en un

certain nombre de points spécialement étudiés et de couper aussi les dérivations établies sur ce jeu de barres Ce dernier est alimenté par deux câbles en provenance de l'usine de Gennevilliers et amenant à Soisy le courant triphasé à la tension de 60000 v (fig. 7).

L'emploi du ciment armé pour la construction du portique est préférable à celui du métal qui avait été utilisé dans les premiers postes construits, il y a quelques années; les deux principaux avantages du ciment armé sont la clarté de l'installation et l'entretien nul, tandis que les portiques métalliques nécessitent pour leur conservation des travaux de peinture qui, en dehors de leur prix, apportent une gêne considérable dans l'exploitation. Toutes les pièces constituant le portique en béton centrifugé ont été fabriquées à l'usine de Précy, de la Société française des Poteaux électriques, et montées sur place, à la manière d'une charpente métallique, sans coffrage. La qualité supérieure du béton obtenu en usine, par centrifugation, en réduisant les dimensions des poutres et des poteaux, a permis d'arriver à une grande légèreté de l'ensemble. En outre, la section ainsi obtenue avec évidement central présente un minimum de poids et un maximum de résistance à la flexion pour les poutres. De plus, une nouvelle conception d'assemblage des poutres sur les poteaux ainsi que des poutres entre elles a permis d'obtenir que toutes les poutres soient, à chaque étage, dans un même plan horizontal, ce qui permet un montage facile des appareils et contribue à donner à l'ensemble son aspect de légèreté. Tous les trous de fixation des appareils, les mises à la terre, les supports de sectionneurs, ont été prévus en usine, au moment de la fabrication, ce qui a permis un montage rapide des appareils placés sur le portique.

Sous ce portique se trouvent : 1° les disjoncteurs à 60000 v interposés entre les câbles d'arrivée de Gennevilliers et les barres du portique et entre ces barres et les transformateurs; 2° les transformateurs eux-mêmes établis sur des massifs; ils abaissent la tension du courant reçu de Gennevilliers à 5500 v et à 15000 v qui sont les tensions de service des réseaux du Nord-Lumière.

Pour réduire au minimum les risques de propagation d'incendie, une fosse remplie de pierraille a été établie sous chaque appareil; chaque fosse a été prévue pour que les vides restant entre les pierres aient un volume suffisant pour permettre l'absorption de la totalité de l'huile contenue dans l'appareil.

3. Tour de démontage. — Cette tour (fig. 8) est placée en bordure du terrain, sur la voie publique et munie de puissants appareils de levage. C'est dans cette tour que sont déchargés les appareils lourds et qu'ils sont visités s'il y a lieu. De cette tour, part une voie ferrée à gabarit normal sur laquelle circulent les chariots qui transportent les appareils, soit à destination, soit en provenance de la tour de démontage.

Contigus à la tour se trouvent un atelier de réparations et un magasin pour les pièces détachées.

4. Batiment destiné au traitement des huiles. — Ce bâtiment est prévu pour l'emmagasinage et le traitement de l'huile destinée au remplissage des cuves des transformateurs et des disjoncteurs. Il comprend une série de réservoirs, tant pour contenir l'huile neuve que l'huile traitée. Le traitement de l'huile qui a été extraite des cuves d'appareils se fait par centrifugation au moyen d'un appareil Alfa-Laval.

Une double tuyauterie souterraine, pour le transport de l'huile neuve ou traitée d'une part et pour le transport de l'huile à traiter, d'autre part, relie le bâtiment du traitement des huiles à chaque cuve d'appareil.

5. Pavillons d'habitation. — Ces pavillons, au nombre de deux, sont jumelés et construits avec le confort

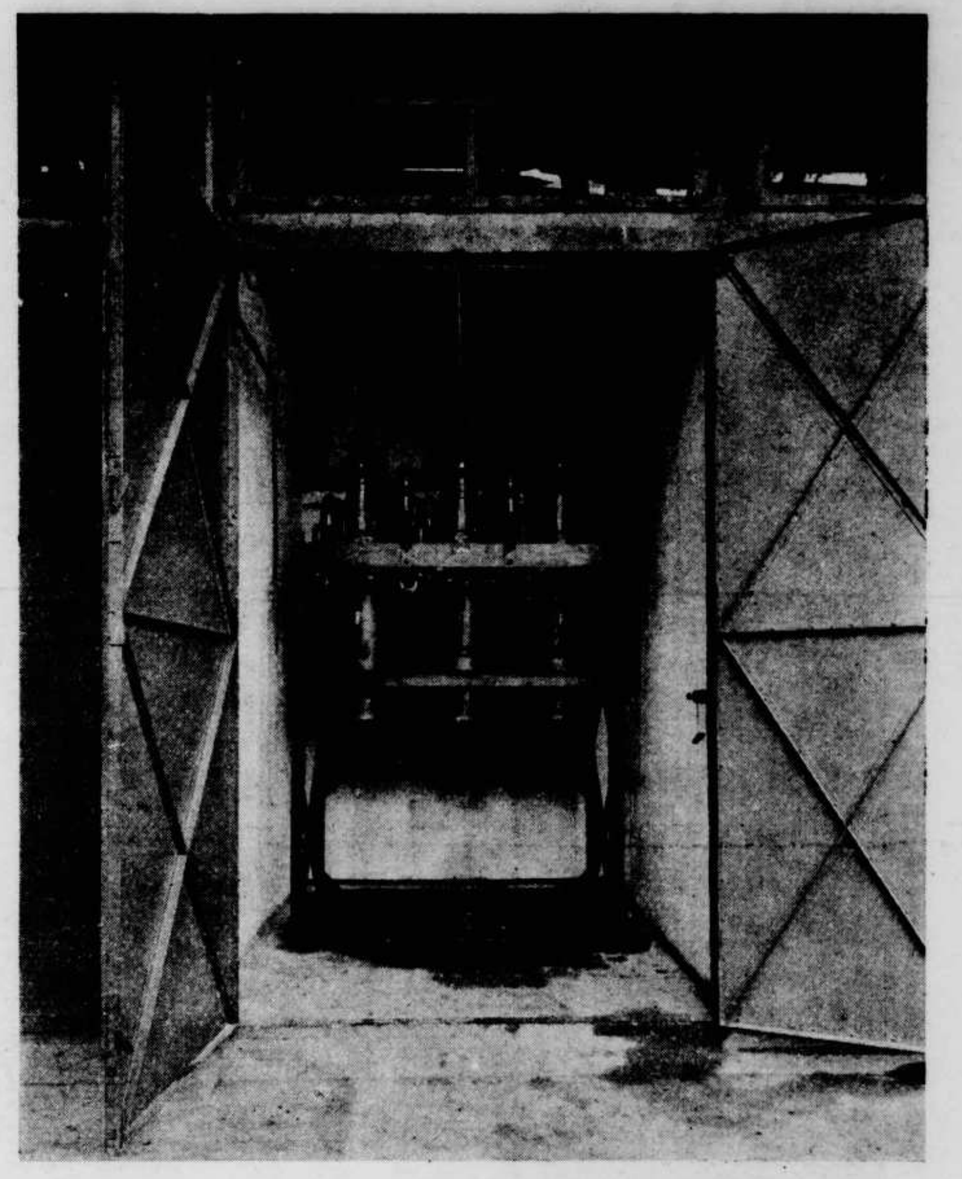


Fig. 5. — Vue d'une cellule de disjoncteur à 15000 v du poste de Soisy, montrant l'ouverture sur l'extérieur.

moderne; ils sont destinés à loger le personnel préposé au fonctionnement du poste. Une passerelle relie les pavillons au poste lui-même pour permettre au personnel de s'y rendre rapidement la nuit, en cas d'alerte.

Tout incident qui se produit est signalé par un relais sonore qui avertit le personnel, tant dans les salles mêmes du poste que dans les pavillons d'habitation.

III. **Appareillage du poste de Soisy.** — Le matériel électrique du poste de Soisy se divise en deux classes : l'appareillage intérieur à moyenne tension qui, pour faciliter les remplacements, a été prévu avec les

mêmes isolateurs dans la partie à 5500 v et dans celle à 15000 v; l'appareillage extérieur à haute tension (60000 v). Tout ce matériel a été fourni par la Société industrielle des Téléphones et monté par la Société Force et Lumière électriques.

1. Sectionneurs. — 1° *Sectionneurs intérieurs.* — Ils sont du type 30000 v, à commande mécanique. Les porcelaines, qui sont du type tronconique lisse, sont essayées sous une tension de 70000 v à sec.

2° *Sectionneurs extérieurs.* — Ils sont du type 70000 v, 350 a, à couteaux coulissants. La simplicité du principe de fonctionnement permet de n'utiliser que trois isolateurs par phase; ces isolateurs sont des porcelaines à jupe, essayées aux tensions de 150000 v à sec et 100000 v sous pluie.

Le fonctionnement est sûr, puisque l'appareil ne comporte ni connexions souples susceptibles de se détériorer, ni connexions rigides introduisant des résistances de contacts qui seraient des sources d'échauffement.

Une des particularités de l'installation de ces sectionneurs consiste dans leur mode de commande qui peut s'effectuer du tableau de contrôle aussi bien par moteur qu'à la main; le premier mode de commande doit seul normalement être employé, le second servant en cas d'indisponibilité temporaire du premier.

La commande électrique est d'un modèle relative-

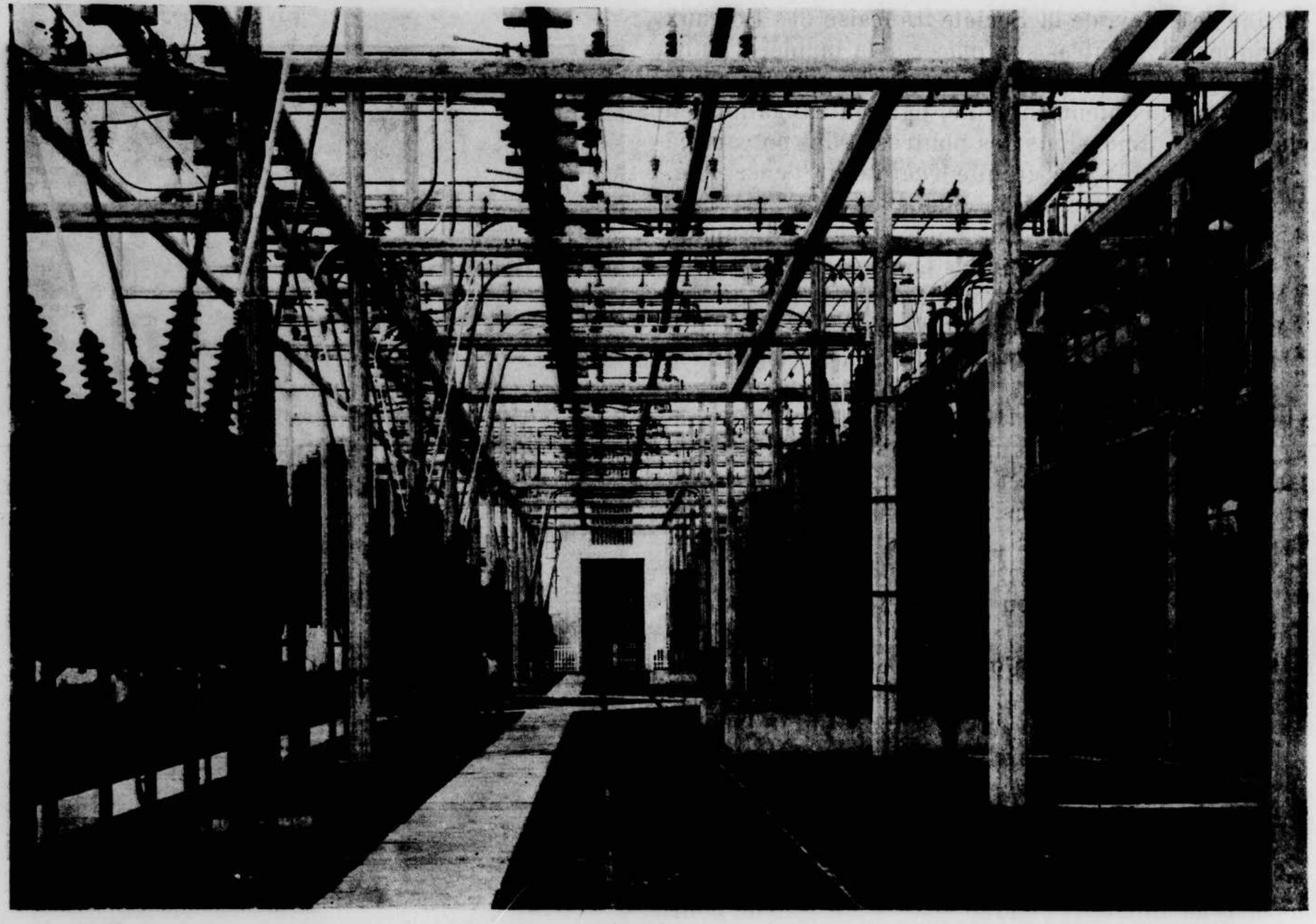


Fig. 6. — Vue générale du portique du poste de Soisy, des sectionneurs, des disjoncteurs à 60 000 v et des transformateurs.

ment nouveau, sur lequel nous donnons plus loin quelques précisions.

Un interrupteur à main placé sur le tableau permet la coupure de chaque groupe de circuit de commande, d'où une sécurité complète pour le travail d'entretien.

2. Disjoncteurs. — 1° *Disjoncteurs à 15 000 volts.* — Ces disjoncteurs, qui ont été déjà expérimentés depuis deux ans au poste d'Asnières, ont un pouvoir de rupture de 1000000 kv-a sous la tension de service de 15000 v, c'est-à-dire qu'ils peuvent couper un courant de 40000 a. Ces appareils à trois bacs comportent des cuves en tôle d'acier essayées à une pression de 12 kg : cm². Le fond hémisphérique de ces cuves y est raccordé par soudure électrique.

Les bornes sont du type condensateur à isolant imprégné à la bakélite; elles sont recouvertes extérieurement d'une enveloppe en porcelaine pour la protection du papier bakélisé; les porcelaines sont montées avec un certain jeu autour de la traversée,

laquelle plonge assez profondément dans la cuve; de cette façon, les mouvements de flexion provoqués par les courts-circuits ne se communiquent pas à la porcelaine.

La rupture, qui est double, s'effectue à l'intérieur de chambres d'explosion en acier; ces dernières sont isolées intérieurement et d'une forme telle que les remous produits par la pression chassent les dépôts charbonneux. Les contacts sont prévus pour une intensité de courant de 1500 A et sont constitués par des balais feuilletés; leur forme est étudiée de façon que la

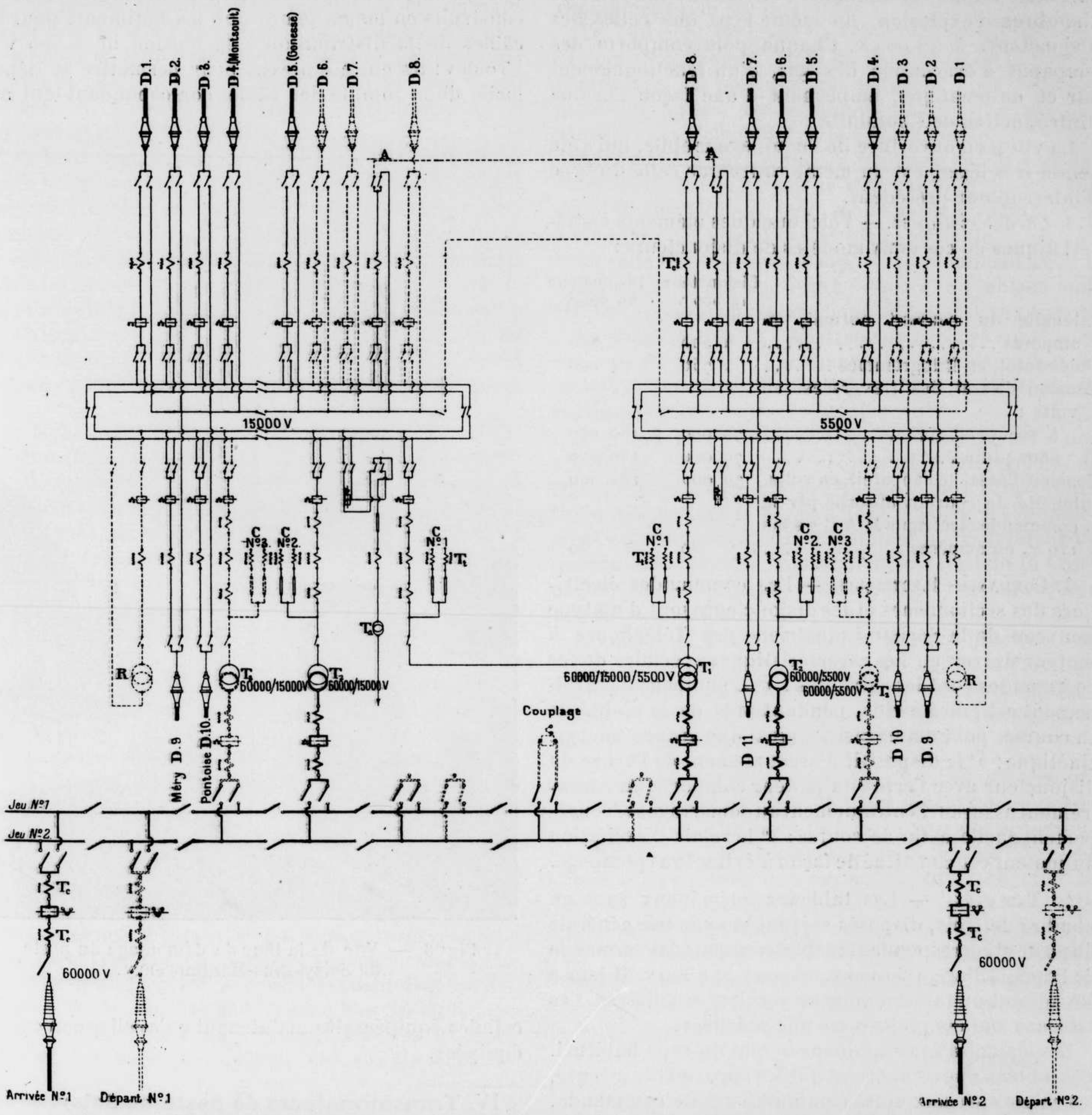


Fig. 7. — Schéma unifilaire des connexions du poste de Soisy : A, alimentation des barres auxiliaires et mise sous tension progressive ; C, comptage ; D, départs ; R, régulateur de tension ; T, transformateurs principaux.

pression sur les plots s'accroît en cas d'efforts électrodynamiques.

L'ensemble du circuit électrique constitué par les traversées, les balais et les plots, est suceptible de supporter une intensité de courant de 75 000 A pendant 5 s.

L'équipage mobile comporte des ressorts suffisamment puissants pour que la vitesse d'ouverture à vide (c'est-à-dire sans pression à l'intérieur des chambres et sans effort électrodynamique) soit de l'ordre de 2 m : s

L'évacuation des gaz s'effectue par des tubulures de forte section.

2° *Disjoncteurs à 60 000 volts.* — Ils sont constitués, pour chaque pôle, par une cuve cylindrique en tôle épaisse à fond plat.

Les bornes sont du type condensateur, avec transformateur de bornes, à prises multiples : la rupture du circuit dans l'huile est double et s'effectue à l'intérieur de chambres d'explosion, du même type que celles des disjoncteurs à 15 000 v. Chaque pôle comporte des soupapes d'évacuation des gaz, d'un fonctionnement sûr et automatique, empêchant d'une façon absolue l'introduction de l'humidité.

La vitesse d'ouverture de l'équipage mobile, qui a été rendu très léger, est du même ordre que celle du type d'interrupteur précédent.

3° *Caractéristiques.* — Voici quelques éléments caractéristiques de ces deux modèles de disjoncteurs :

	Disjoncteur 15 000 v	Disjoncteur 60 000 v
Intensité du courant normal, en ampères	1 500	500
Poids total, en kilogrammes	1 750	4 000
Tension d'essai des traversées, en volts :		
à sec	70 000	180 000
sous pluie	70 000	150 000
Tension d'essai de l'appareil, en volts.	70 000	180 000
Intensité du courant absorbé par la commande électrique M.A.C.2 sous 110 v, en ampères	30	30

3. Commandes électriques. — Les commandes électriques des sectionneurs et des disjoncteurs sont d'un type nouveau de la Société industrielle des Téléphones à moteur universel. Les caractéristiques spéciales de ces commandes sont les suivantes : 1° L'équipage d'entraînement est lancé à vide, pendant près de la moitié de sa course pour emmagasiner ainsi une grande énergie cinétique ; 2° le dispositif d'accouplement de l'arbre du disjoncteur avec l'arbre du moteur comporte un excentrement assurant l'entraînement au démarrage et l'échappement facile à fin de course ; 3° le relais d'excitation du moteur est constitué de façon à éviter tout pompage.

4. Tableaux. — Les tableaux principaux sont au nombre de trois, disposés suivant la symétrie générale du poste et correspondant respectivement à la commande de l'appareillage à 60 000 v, 15 000 v et 5 500 v. Il leur a été adjoint un tableau pour les services auxiliaires. Ces tableaux ont été réalisés en tôle martelée.

Les signalisations lumineuses sont du type habituel. Ces tableaux ne comportent que les appareils de mesure, les relais spéciaux et les commutateurs de commande.

Tandis que le tableau pour 60 000 volts est du type vertical, les deux autres sont du type pupitre.

En ce qui concerne le tableau des services auxiliaires, sa disposition est semblable à celle des autres tableaux ; il comporte des appareils de commande, interrupteurs et disjoncteurs à commande mécanique.

Toutes les connexions entre les appareils et les tableaux ont été établies en câbles armés pour l'extérieur, en câbles sous caoutchouc protégés par une tresse en chanvre goudronné pour l'intérieur. Tous ces câbles ont été placés dans des caniveaux réservés à la construction et aussi subdivisés que possible, en une seule épaisseur à peu près partout, pour en rendre aisés la visite et le remplacement.

Des caniveaux spéciaux largement calculés ont été construits en même temps que les bâtiments pour les câbles de la distribution à la tension de 5 500 v et 15 000 v ; ils ont été prévus pour permettre le départ facile de la totalité des câbles correspondant tant aux cellules équipées dès maintenant qu'à celles non encore équipées.

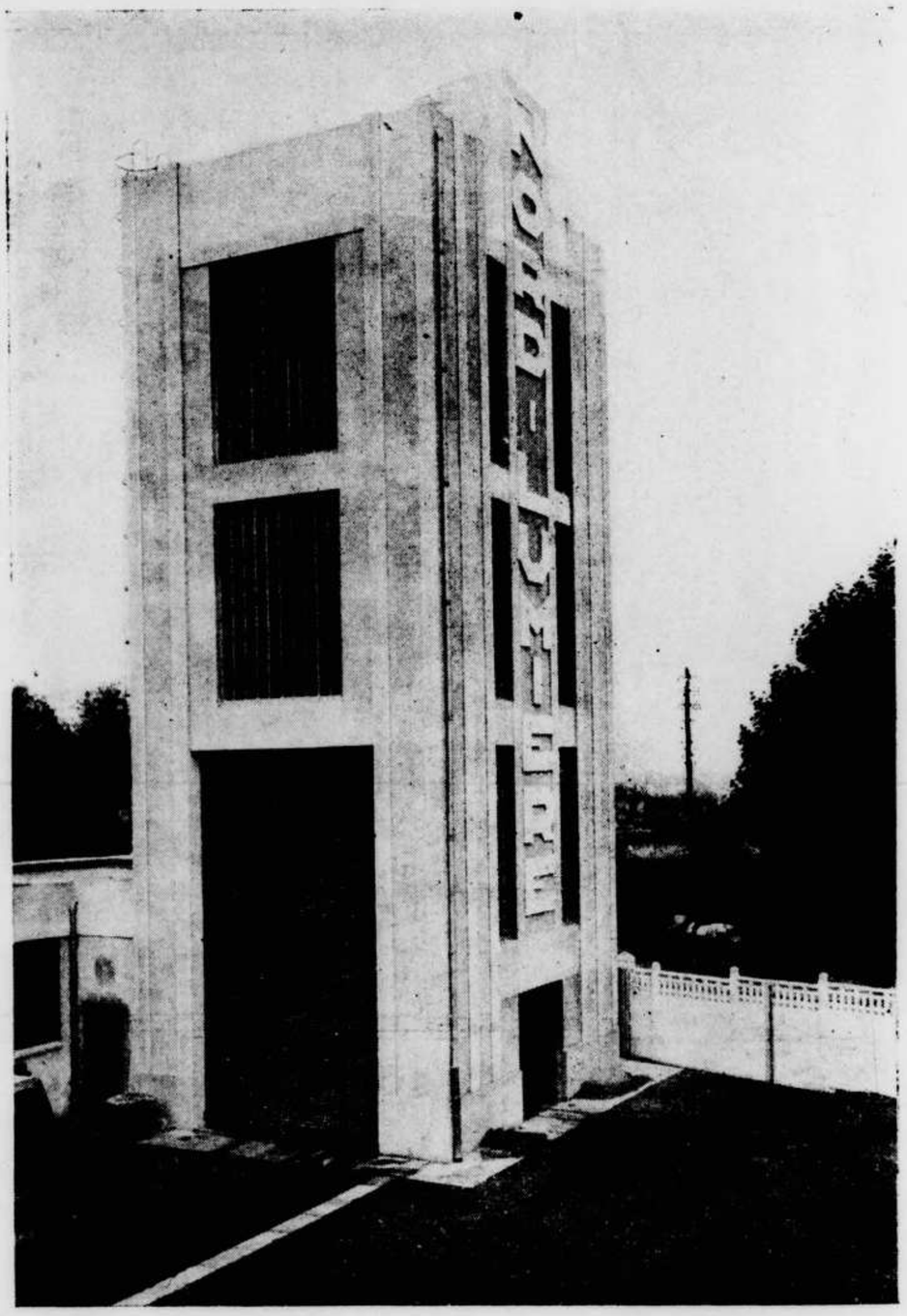


Fig. 8. — Vue de la tour de démontage du poste de Soisy-sous-Montmorency.

IV. **Transformateurs du poste de Soisy.** — Les transformateurs du type triphasé de la Société savoisienne de Constructions électriques sont au nombre de trois. D'une puissance de 9 000 kv-a chacun, ils ont respectivement un rapport de transformation de 60 000/5 500 v, 60 000/15 000 v et 60 000/15 000/5 500 v pour le dernier, lequel comporte trois enroulements.

Chacun des deux premiers transformateurs alimente son jeu de barres propre (l'un à la tension de 5 500 v, l'autre à la tension de 15 000 v) au premier étage du

poste. Le troisième transformateur peut servir de secours à l'un ou à l'autre en débitant sur l'un ou l'autre des jeux de barres; il peut même servir de secours à la fois aux deux premiers en débitant à la fois sur les deux jeux de barres; il peut enfin, si besoin est, débiter en parallèle pour chacun de ses enroulements avec les deux premiers transformateurs à la fois. Ce transformateur a été calculé, de plus, pour pouvoir débiter sa puissance totale, soit du côté de 5 500 v, soit du côté de 15 000 v. Toutes les combinaisons de secours ont donc été prévues.

Les trois transformateurs sont munis de cinq prises sur la basse tension, ou tension de service des réseaux du Nord-Lumière; ces prises permettent de faire varier la tension par échelons successifs de 2,5 pour 100 de sa valeur au moyen d'un commutateur manœuvrable de l'extérieur de la cuve. Nous pensons ainsi satisfaire, pour un certain temps, au désir de maintenir une tension satisfaisante sur nos réseaux, en attendant la mise en service de régulateurs de tension qui ont été également prévus et dont la place est ménagée au poste de Soisy.

V. **Poste de Trie-Château.** — Le poste de Trie-Château (Oise) est alimenté par une ligne aérienne en boucle, en courant triphasé à 60 000 v, et les départs de moyenne tension, tous triphasés à 15 000 v, sont aériens. Le bâtiment qui abrite les départs est perpendiculaire au portique; cette disposition a été jugée ici préférable à celle employée à Soisy (bâtiment parallèle au portique) parce qu'on peut ainsi utiliser les deux faces pour des départs aériens, tandis que dans l'autre disposition, celle des faces qui est adjacente au portique ne peut être utilisée que pour des départs souterrains.

Moyennant les remarques précédentes, et aux dimensions près du bâtiment et du portique, on peut dire qu'il y a beaucoup d'analogie entre les postes de Soisy et de Trie-Château. Les disjoncteurs à 60 000 v des deux postes sont du même type; les disjoncteurs à 15 000 v sont, à Trie-Château, d'un type plus réduit, le courant de court-circuit étant moindre, en raison de l'impédance des lignes aériennes. A Trie-Château, le déclenchement d'un départ aérien est suivi d'un ou de plusieurs réenclenchements espacés de quinze secondes; on limite généralement à trois ces réenclenchements. On obtient ce résultat grâce à l'emploi d'un relais spécial réglable, de la Société industrielle des Téléphones, actionnant les commandes électriques des disjoncteurs. Si, au bout du troisième réenclenchement, le défaut de ligne n'est pas éliminé, on procède aux recherches. Très généralement les défauts ne sont pas persistants; on évite de laisser hors service une ligne qui n'est que légèrement affectée (chutes de branches, oiseaux, coups de foudre, etc.) et qui peut être très rapidement remise en service.

Le bâtiment du poste de Trie-Château est construit également en ciment armé. La conception de la tour de démontage, du portique, du bâtiment pour le traitement des huiles, des pavillons d'habitation du personnel est la même pour Trie-Château et Soisy.

Les sectionneurs à 60 000 v placés sur le portique du poste de Trie-Château ne sont pas pourvus de commandes électriques; leur manœuvre à main, étant donné leur petit nombre, est bien suffisante.

La salle des tableaux comporte : un tableau pour la commande de l'appareillage à 60 000 v; un tableau pour celui à 15 000 v et un tableau pour les services auxiliaires.

La signalisation et l'éclairage de secours sont assurés, comme à Soisy, par une batterie d'accumulateurs installée, avec ses groupes de charge, au rez-de-chaussée du poste.

Il y a, à Trie-Château, deux transformateurs d'une puissance de 3 000 kv-A chacun et d'un rapport de transformation égal à 60 000/15 000 v avec prises multiples permettant le réglage de la tension. Il est également prévu la possibilité d'installer un régulateur de tension. Ces transformateurs sont du type de la Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés Thomson-Houston.

Le poste de Trie-Château est relié, comme celui de Soisy, au réseau téléphonique privé du Nord-Lumière qui assure la communication entre tous les postes du réseau de cette société, ce qui est d'une grande importance pour la coordination des services.

VI. **Conclusion.** — Le poste de Soisy-sous-Montmorency et celui de Trie-Château sont d'une conception simple et d'un entretien facile; ils ont été entièrement étudiés par les services de la Société Force et Lumière électriques qui en a, en outre, effectué le montage. Les constructions ont été exécutées sous la direction de M. Lhotelier, architecte, par la maison Darras et Jouanin pour les bâtiments et par la Société française des Poteaux électriques pour le portique extérieur. C'est au début d'octobre dernier que le poste de Soisy et celui de Trie-Château ont été mis en service.

H. Daguerre.

Revues, analyses et informations

Influence des tensions transitoires sur l'établissement des transformateurs de puissance (1).

Le but de cet article est de réunir des renseignements d'ordre expérimental sur la manière dont se comportent les transformateurs à neutre isolé ou à neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une impédance quand ils subissent une perturbation transitoire.

1. Transformateurs a neutre isolé. — Sur un oscillogramme reproduisant, après un coup de foudre, les oscillations de tension d'un transformateur ordinaire cuirassé, on remarque que les surtensions en ces points atteignent 3,04; 2,80; 2,58 et 2,90 fois la tension normale.

(1) K.-K. Palueff. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, août 1930, t. xlix, p. 670-674, 1 500 mots, 6 figures.

Trop souvent on mésestime l'importance des ondes de propagation consécutives à une manœuvre de couplage, du fait que l'amplitude moyenne d'une telle onde n'est que la moitié de celle d'une décharge atmosphérique ; mais, comme l'auteur l'a indiqué dans un article antérieur, les premières sont des oscillations amorties qui donnent naissance à des oscillations forcées ou superposées dans les enroulements du transformateur; aussi, tandis que la tension aux bornes est réduite à peu près à la moitié de celle due à un coup de foudre, les tensions internes atteignent au moins le double, comme le montrent les courbes 5 et 6 de la figure 1. Il en résulte que les tensions moyennes sont sensiblement les mêmes dans les deux cas, comme le montrent les courbes 7 et 8 de la figure 1.

L'auteur fait remarquer que la courbe 5 a été tracée en

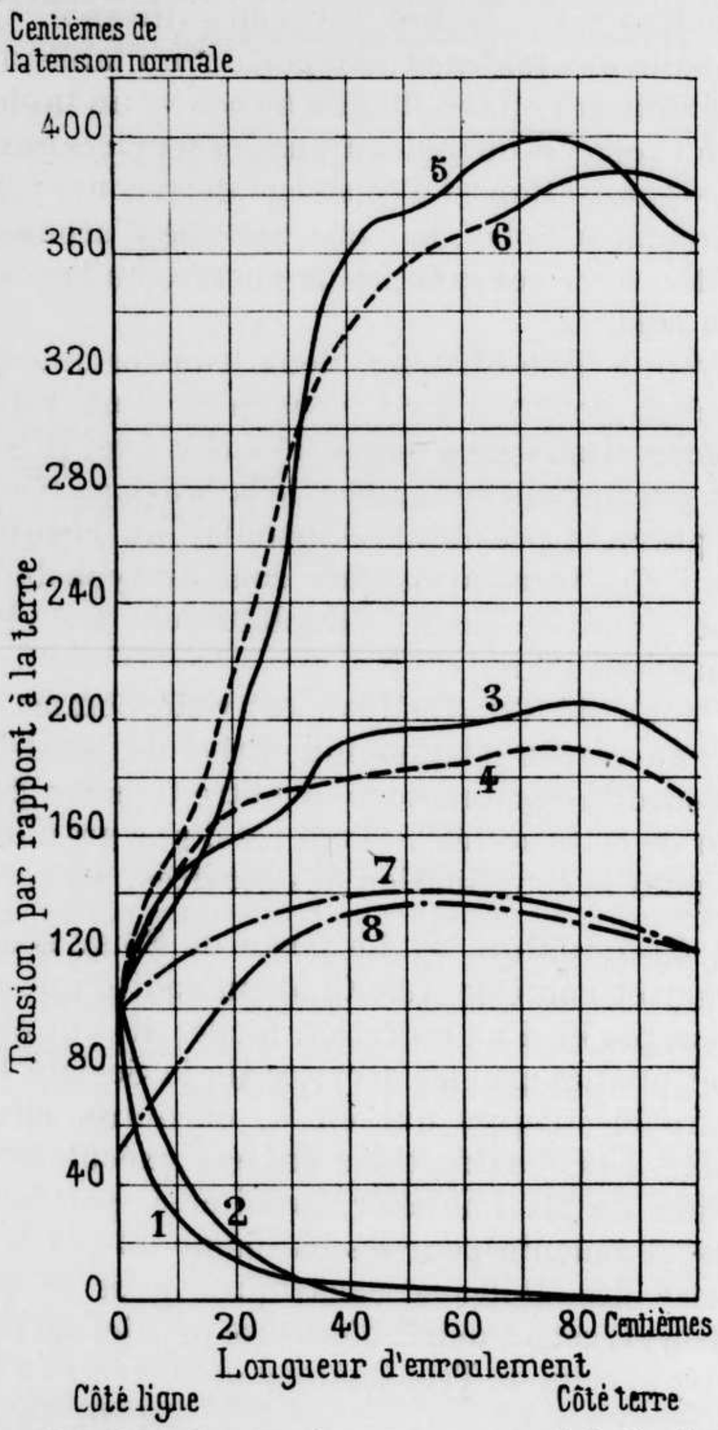


Fig. 1 — Courbes des tensions par rapport à la terre que peuvent produire dans les transformateurs cuirassés et à noyau les perturbations engendrées par un coup de foudre ou une manœuvre de couplage : 1 et 2, répartition initiale de la tension; 3 et 4, tensions maxima par rapport au sol dues à un coup de foudre; 5 et 6, tensions maxima par rapport au sol dues à une opération de couplage (les courbes 1, 3 et 5 se rapportent à un transformateur cuirassé; les courbes 2, 4 et 6, à un transformateur à noyau); 7 et 8, tensions calculées qui se produisent le plus couramment à la suite d'un coup de foudre ou d'une manœuvre de couplage.

admettant une fréquence égale à 20 pour 100 de la fréquence fondamentale du transformateur; or, un transformateur ordinaire possède onze fréquences différentes qui ne sont pas les mêmes d'un appareil à l'autre; aussi, en raison des complications des réseaux actuels, on se rend compte des dangers que peuvent faire courir beaucoup de manœuvres de couplage.

Pratiquement, les transformateurs fonctionnant avec leur neutre isolé doivent avoir tout leur enroulement isolé pour la tension de transmission, ce qui revient à dire que cet enroulement doit résister à un essai comportant une tension égale à 3, 4 fois la tension normale par rapport au sol.

2. Transformateurs a neutre mis au sol par l'intermédiaire d'une impédance. — L'auteur signale les effets d'un coup de foudre sur l'enroulement d'un transformateur dont le neutre est mis à la terre par l'intermédiaire d'une résistance, d'une inductance ou d'un condensateur; or, même avec une bobine d'inductance convenablement calculée, il n'est pas possible d'empêcher le neutre de prendre une tension dangereuse en cas de perturbation. L'étude du problème a suggéré le dispositif de protection suivant : on shunte l'inductance insérée entre le neutre et la terre par un condensateur et une résistance, dont les valeurs sont calculées de telle sorte que la tension du neutre n'atteigne jamais un pourcentage déterminé de la tension appliquée et que l'impédance de ce dispositif de mise à la terre ait bien la valeur appropriée à la fréquence de fonctionnement. En outre, le taux d'accroissement de la tension du neutre sous l'action d'une surtension est rendu si faible que l'enroulement de ce dernier oscille comme s'il était directement mis à la terre.

En résumé, si le neutre est relié au sol par une inductance, l'isolement de tout le bobinage ainsi que celui de la borne du point neutre doit être équivalent à celui des bornes de la ligne. Il en sera de même encore si la liaison au sol est réalisée au moyen d'une résistance supérieure à 400 ohms ; au-dessous de cette valeur, l'isolement du neutre pourra être réduit dans une proportion qui dépend de la rapidité de l'accroissement de son potentiel ainsi que des caractéristiques du transformateur en haute fréquence.

3. Transformateurs non résonants a neutre relié a la terre par l'intermédiaire d'une impédance. — Si dans un transformateur non résonant construit pour fonctionner avec son neutre relié directement à la terre, cette liaison s'effectue par l'intermédiaire d'une résistance ou d'un condensateur, ce transformateur oscille à l'instar d'un transformateur ordinaire; toutefois, on peut choisir la capacité du condensateur de telle sorte que le point neutre se maintienne réellement au potentiel du sol; alors les tensions transitoires se répartissent uniformément le long de l'enroulement. Comme il est toujours possible de donner à une telle impédance une valeur très élevée à la fréquence de fonctionnement, on voit que le transformateur peut être amené à se comporter comme un appareil à neutre isolé.

4. Conclusions. — L'auteur formule les conclusions ci-après relatives aux transformateurs non résonants : 1° si le neutre est relié directement au sol, il est loisible de répartir l'isolement à partir des bornes du réseau jusqu'au point neutre; 2° on ne doit jamais mettre le neutre à la terre par l'intermédiaire d'une inductance, mais on peut utiliser une résistance inférieure à 30 ou 40 ohms ; dans cette hypothèse, l'isolement du bobinage peut être graduellement réduit à partir des bornes de la ligne jusqu'au neutre, en tenant compte toutefois de la pointe de tension que ce dernier est susceptible d'atteindre. Les résistances supérieures au chiffre mentionné ci-dessus devront être shuntées par des condensateurs. — B. C.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Importations et exportations françaises pendant les neuf premiers mois de l'année 1930

Comme dans les précédents articles publiés sous ce titre, les nombres figurant dans les tableaux qui suivent sont extraits de la « Statistique mensuelle du Commerce extérieur de la France » éditée par la Direction générale des Douanes du Ministère des Finances. Ils se rapportent au *commerce spécial*, qui comprend, pour l'importation, les marchandises mises en consommation en France et, pour l'exportation, les marchandises d'origine française exportées et celles d'origine étrangère ou coloniale qui, admises en franchise ou nationalisées par le paiement des droits, sont renvoyées à l'étranger.

Les poids indiqués à l'importation sont, pour les marchandises exemptes de droits ou taxées à 1,50 fr par kilogramme au plus, les *poids bruts* résultant des constatations du Service des Douanes ou des déclarations des commerçants et, pour les marchandises taxées à plus de 1,50 fr par kilogramme, le *poids net*. A l'exportation il n'est tenu compte que du *poids brut*.

Quant aux valeurs, il est fait état, à l'importation depuis 1921 et à l'exportation depuis 1927, des *valeurs déclarées* ; antérieurement, les valeurs étaient calculées sur la base des *derniers taux arbitrés* par les membres de la Commission permanente des Valeurs en Douane.

Les nombres indiqués pour les années 1928 et 1929 sont définitifs ; ceux de l'année 1930 ne sont que provisoires.

I. Commerce extérieur de la France.

Valeurs des importations et des exportations. — Le tableau I montre que la valeur des importations des trois premiers trimestres de 1930 dépasse 39 milliards de francs dont plus de 8 milliards pour les objets

Tableau I. — Commerce extérieur spécial de la France.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES NEUF PREMIERS MOIS DES ANNÉES 1930, 1929 ET 1913. (Page 8 des documents officiels.)

Pages des documents officiels		Désignation	Quantités exprimées en tonnes métriques 1930	1929	1913	Valeurs exprimées en milliers de francs 1930	1929	1913
8	Importations	I. Objets d'alimentation (A)....	4 183 092	5 076 778	3 878 183	8 076 324	10 069 903	1 271 720
		II. Matières nécessaires à l'industrie (B).....	39 594 610	37 348 228	27 744 565	22 659 979	26 515 738	3 629 403
		III. Objets fabriqués.....	1 746 976	1 486 550	1 149 007	8 507 702	7 272 042	1 221 232
			45 524 678	43 911 556	32 771 755	39 244 005	43 857 683	6 122 355
		(A) Dont : Articles de production exclusivement exotique.....	737 367	664 660	448 286	2 140 686	2 694 396	283 579
		(B) Dont : Houille crue, carbonisée et agglomérée.....	23 269 788	22 393 878	17 037 800	3 410 512	3 116 845	435 644
8	Exportations	I. Objets d'alimentation.....	1 706 291	1 096 893	911 969	4 460 090	4 382 926	616 704
		II. Matières nécessaires à l'industrie.....	22 482 059	24 771 251	13 062 447	7 671 868	9 480 992	1 359 857
		III. Objets fabriqués.....	3 703 094	4 000 569	1 680 619	20 527 739	23 141 907	3 042 230
			27 891 444	29 868 713	15 655 035	32 659 697	37 005 825	5 018 791

d'alimentation, plus de 22,6 milliards pour les matières nécessaires à l'industrie et 8,5 milliards pour les objets fabriqués.

Dans la valeur des objets d'alimentation, les vins entrent pour plus de 1 369 millions de francs, les céréales pour 1 280 millions, les denrées coloniales (café, cacao, thé, etc.), pour 1 088 millions, les viandes et le gibier pour 967 millions, les fruits de table pour 780 millions, les sucres et sirops pour 527 millions, les poissons et crustacés pour 359 millions, les eaux-de-vie pour 328 millions, les fromages pour 175 millions de francs.

Tableau A. — *Indices du mouvement d'échanges internationaux en ce qui concerne le commerce spécial pour les neuf premiers mois des années 1930 et 1929.*

DÉSIGNATION	SUPÉRIORITÉ EN 1930 DE L'IMPORTATION SUR L'EXPORTATION		AUGMENTATION OU DIMINUTION DES IMPORTATIONS DE 1930 SUR 1929		SUPÉRIORITÉ EN 1930 DE L'EXPORTATION SUR L'IMPORTATION		AUGMENTATION OU DIMINUTION DES EXPORTATIONS DE 1930 SUR 1929	
	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur
	tonnes	milliers de francs	tonnes	milliers de francs	tonnes	milliers de francs	tonnes	milliers de francs
I. Objets d'alimentation.....	2 476 801	3 616 234	— 893 686	— 1 993 579			+ 609 398	+ 77 164
II. Matières nécessaires à l'industrie.	17 112 551	14 988 111	+ 2 246 382	— 3 855 759			— 2 289 192	— 1 809 124
III. Objets fabriqués..			+ 260 426	+ 1 235 660	1 956 118	12 020 037	— 297 475	— 2 614 168
Variation du total des 3 catégories.....	17 633 234	6 584 308	+ 1 613 122	— 4 613 678			— 1 977 269	— 4 346 128

Parmi les matières nécessaires à l'industrie, les métaux et minerais ont donné lieu à des importations d'une valeur de 2 550 millions de francs, dont plus de 1 168 millions pour le cuivre ; les matières textiles entrent dans le total pour 6 698 millions, dont 2 728 pour la laine, 2 278 pour le coton et 721 pour la soie ; le charbon et le coke importés ont coûté 3 410 millions de francs, les huiles et essences minérales, 2 266 millions ; notons aussi les graines et fruits oléagineux, dont la valeur entre dans le total pour 1 656 millions, les bois pour 1 280, les peaux et pelleteries pour 809, le caoutchouc pour 319, les perles et pierres précieuses pour 679 millions de francs.

Dans le groupe des objets fabriqués, les produits chimiques figurent dans la valeur des importations pour 882 millions, les produits des industries mécaniques pour 4 028 millions de francs dont 2 021 pour les machines motrices à vapeur et autres.

La valeur des exportations, inférieure de plus de 6 584 millions de francs à celle des importations, dépasse 32,6 milliards de francs, dont 4,4 milliards pour les objets d'alimentation, 7,6 milliards pour les matières nécessaires à l'industrie et plus de 20,5 milliards pour les objets fabriqués.

Dans le groupe des objets d'alimentation, à noter les rubriques suivantes : les denrées coloniales dont les exportations ont atteint 2 489 millions de francs, soit plus du double de la valeur des importations ; les céréales dont il a été exporté pour 819 millions, nombre inférieur de 460 millions à celui des importations ; les vins et mistelles dont les exportations se sont élevées à plus de 625 millions, soit sensiblement la moitié des importations. Viennent ensuite les sirops et sucres (577 millions, soit 50 millions de plus que le montant des importations) ; les eaux-de-vie (378 millions contre 328 aux importations) ; les fruits de table (290 millions, somme inférieure de 490 millions à celle qui figure aux importations) ; les viandes et le gibier (260 millions) ; les poissons et crustacés (167,7 millions) ; les fromages (168 millions).

Tableau A_1. — *Valeurs, en milliers de francs, des importations et exportations pendant chacun des mois de l'année 1929 et des neuf premiers mois de 1930.*

	IMPORTATIONS	EXPORTATIONS
1929 :		
Janvier.....	5 122 462	3 699 084
Février.....	5 148 987	4 113 172
Mars.....	4 968 733	4 172 823
Avril.....	5 143 715	4 419 445
Mai.....	5 061 457	3 958 909
Juin.....	5 165 042	4 349 341
Juillet.....	4 627 293	4 269 148
Août.....	4 339 533	3 804 235
Septembre.....	4 353 136	4 221 004
Octobre.....	4 515 576	4 385 958
Novembre.....	4 789 413	4 267 785
Décembre.....	5 019 755	4 396 484
1930 :		
Janvier.....	4 777 565	3 714 387
Février.....	4 807 926	4 017 787
Mars.....	4 431 115	3 958 428
Avril.....	4 565 779	3 887 769
Mai.....	4 102 929	3 732 961
Juin.....	4 165 326	3 351 817
Juillet.....	4 119 972	3 529 726
Août.....	4 067 877	3 108 292
Septembre.....	4 205 516	3 358 530

Parmi les matières nécessaires à l'industrie, les métaux et minerais entrent dans la valeur totale des exportations pour 2693 millions de francs, somme qui

dépasse de 143 millions le montant des importations; les textiles, pour 1 381 millions, soit moins du cinquième du montant des importations. Signalons aussi l'exportation des perles fines et pierres précieuses, dont le montant dépasse 608 millions, ainsi que celle des métaux précieux pour orfèvrerie et bijouterie, dont la valeur a été de 18 millions de francs.

Dans le groupe des objets fabriqués nous relevons les valeurs suivantes : 2 402 millions de francs pour les produits des industries chimiques, dont 526 pour la parfumerie, 328 pour le chlorure de potassium, 309 pour les médicaments composés, 218 pour les engrais phosphatés, 159 pour les couleurs et encres; 4 239 millions pour les produits des industries mécaniques, dont 1 345 pour les outils et ouvrages en métaux, 893 pour les voitures automobiles, 873 pour les machines motrices; 6700 millions pour les fils et tissus, 1712 millions pour les objets d'habillement.

VARIATIONS DES VALEURS DES IMPORTATIONS ET DES EXPORTATIONS. — En examinant le tableau I on voit que le montant de nos importations pendant les neuf premiers mois de l'année 1930 est inférieur d'environ 4613 millions de francs à celui relatif à la même période de 1929 (soit de 10,5 pour 100), et que le montant de nos exportations a diminué de 4 346 millions (soit 11,8 pour 100).

Les nombres des quatrième et huitième colonnes de chiffres du tableau A indiquent les variations de chacune des trois rubriques. Ils montrent que la valeur des objets d'alimentation importés a diminué, d'une année à l'autre, de 1 993 millions de francs, soit d'environ 20 pour 100; ce fléchissement s'explique par l'excellente récolte de 1929, qui a permis pendant plus de la moitié de l'année en cours de faire appel aux marchés extérieurs dans une mesure moindre que l'année dernière pour notre approvisionnement en produits agricoles. Nos achats de matières premières ont aussi diminué d'une année à l'autre, de 3 856 millions de francs, soit de plus de 14,5 pour 100; cette diminution semble attribuable surtout à la baisse des prix de gros puisque que le tonnage des importations de cette catégorie est en progression. Au contraire, les importations de produits fabriqués marquent une forte progression, s'élevant à 1235 millions, soit d'environ 17 pour 100.

Pour les exportations, nous constatons une légère augmentation de 77 millions de francs, dans la valeur des denrées alimentaires. Par contre les sorties de matières premières accusent un recul de 1 809 millions de francs, soit de 20 pour 100, et les ventes d'objets fabriqués de 2614 millions, soit de 11,5 pour 100.

VALEUR DU COMMERCE EXTÉRIEUR ET BALANCE COMMERCIALE. — La somme des valeurs des importations et des exportations pour les neuf premiers mois de 1930 est de 72 milliards de francs environ, inférieure à celle correspondant à 1929 (81 milliards) et à celle de 1928 (76 milliards).

En raison de la forte diminution des entrées, la balance visible de notre commerce extérieur a été, en valeur absolue, un peu moins défavorable pendant les neuf mois écoulés de 1930 que durant la même période de 1929 : le déficit s'est élevé, de janvier à septembre 1930, à 6584 millions, contre 6 583 millions de francs pendant les neuf mois correspondants de l'année dernière.

Pendant les trois premiers trimestres de 1913, le déficit de notre balance visible avait atteint 1 103,5 millions de francs d'avant-guerre, soit en nombre rond 5,5 milliards de francs actuels. Il représentait alors 18 pour 100 environ des importations; pour les neuf premiers mois de 1930, il est du même ordre de grandeur : 17 pour 100 environ.

Le tableau A_1, qui donne les valeurs des importations et des exportations pendant chacun des mois de l'année 1929 et ceux des neuf premiers mois de 1930 permet de se rendre compte des fluctuations de notre balance commerciale durant cette période.

On voit que de janvier à août 1930 il y a diminution importante de la valeur des importations et de celle des exportations. En septembre on constate une amélioration : par rapport au mois d'août, particulièrement défavorable, les entrées ont progressé de 137,5 et les sorties de 250 millions de francs.

Comme, d'autre part, les exportations se sont relevées dans une proportion un peu plus forte que les importations, le déficit de notre balance commerciale se trouve, pour le mois de septembre, un peu plus faible qu'il n'était le mois précédent; 847 millions au lieu de 959,6 millions de francs pour le mois d'août. Pour les mois antérieurs, le déficit en millions de francs, a été de : 590,2 en juillet, 813,5 en juin, 370 en mai, 678 en avril, 473 en mars, 790 en février et 1063 en janvier, mois pour lequel le déficit mensuel est passé par son maximum.

RÉPARTITION DU COMMERCE EXTÉRIEUR SUIVANT LES PRINCIPAUX PAYS. — Cette répartition est donnée en détail dans le tableau I bis.

On voit que les pays dont les importations ont le plus diminué sont : la République argentine (diminution de 1 130 millions de francs), les Etats-Unis d'Amérique (663), le Canada (439), la Grande-Bretagne (435), l'Egypte (302) et le Brésil (244). Les importations provenant de nos colonies et pays de protectorat accusent également une diminution importante (471 millions). Par contre les importations provenant de l'Allemagne et de l'Union des Républiques socialistes soviétiques ont fortement augmenté (1 207 et 211 millions de francs).

A l'exportation, la diminution est surtout notable pour : l'Union économique belgo-luxembourgeoise (1080 millions de francs), les Etats-Unis (592), la Grande-Bretagne (463), l'Allemagne (345), l'Espagne (336), l'Italie (317), etc. A noter une augmentation importante de nos exportations en Algérie (395 millions de francs), augmentation qui malheureusement

est dépassée par la diminution de nos exportations dans les autres colonies et pays de protectorat (518).

Poids des importations et des exportations. — Si nous revenons maintenant au tableau I, nous constatons que pendant les neuf premiers mois de l'année 1930 le poids de nos importations dépasse 45 millions de tonnes et celui de nos exportations est proche de 28 millions de tonnes.

La comparaison des nombres relatifs aux année

Tableau I bis. — Répartition, suivant les principaux pays, du commerce spécial.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES NEUF PREMIERS MOIS DES ANNÉES 1930 ET 1929 (pages 318 et 319 des documents officiels)

DÉSIGNATION DES PUISSANCES	IMPORTATIONS				EXPORTATIONS			
	1930	1929	augmentation des importations de 1930 sur 1929	diminution des importations de 1930 sur 1929	1930	1929	augmentation des exportations de 1930 sur 1929	diminution des exportations de 1930 sur 1929
	milliers de francs				milliers de francs			
Allemagne	5 984 031	4 776 414	1 207 617		3 206 984	3 552 152		345 168
Brésil	599 999	844 802		244 805	240 726	342 545		101 819
Canada	304 515	744 401		439 886	348 375	439 902		91 527
Danemark	101 526	67 247	34 279		275 272	233 069	42 203	
Egypte	488 474	790 544		302 070	407 289	468 127		60 838
Espagne	1 087 630	1 111 064		23 434	882 030	1 218 437		336 497
Etats-Unis	4 402 269	5 065 637		663 368	1 861 619	2 454 261		592 642
Grande-Bretagne	3 967 234	4 402 708		435 474	5 239 420	5 702 716		463 296
Grèce	64 901	83 628		18 727	182 284	317 452		135 168
Italie	1 108 912	1 118 025		9 113	1 319 496	1 636 876		317 380
Japon	202 649	194 955	7 694		124 926	186 667		61 741
Norvège	232 272	196 215	36 057		123 832	70 784	53 048	
Pays-Bas	1 252 435	1 182 893	69 542		964 579	926 865	37 714	
Pologne	226 283	184 474	41 809		273 267	346 825		73 558
Portugal	135 499	162 967		27 468	187 293	196 930		9 637
République argentine	881 374	2 011 987		1 130 613	659 355	801 303		141 948
Roumanie	239 628	150 589	89 039		124 624	109 644	14 980	
Serbie-Croatie-Slovénie	118 705	112 326	6 379		77 717	79 148		1 431
Suède	565 785	567 779		1 994	246 516	177 218	62 298	
Suisse	847 088	785 723	61 365		2 403 015	2 518 863		115 848
Tchécoslovaquie	213 676	167 325	46 351		160 625	183 580		22 955
Turquie	119 209	119 638		429	142 585	302 058		159 473
Union économique belgo-luxembourgeoise	3 137 328	2 926 414	210 914		4 297 221	5 377 244		1 080 023
U. R. S. S.	656 633	574 522	82 111		148 829	154 924		6 095
Chine (A)	555 810				123 599			
Syrie (B)	44 470	10 262 071		2 756 164	114 758	2 565 064		323 133
Autres pays étrangers	6 905 627				2 003 574			
TOTAUX des pays étrangers	34 443 962	38 604 348	1 893 157	6 053 543	26 139 810	30 362 654	217 243	4 440 087
Afrique occid. française	604 764	644 593		39 829	392 544	413 172		20 628
Algérie	2 319 209	2 301 014	18 195		3 370 635	2 975 465	395 170	
Indo-Chine	400 430	525 638		125 208	684 349	764 149		79 800
Madagascar et dépendances	184 902	268 715		83 813	184 290	309 241		124 951
Maroc	236 644	371 448		134 804	820 012	972 332		152 320
Tunisie	469 091	485 855		16 764	652 418	738 757		86 339
Autres colonies et pays de protectorat	585 003	656 072		71 069	415 639	470 055		54 416
TOTAUX des colonies françaises et pays de protectorat	4 800 043	5 253 335	18 195	471 487	6 519 887	6 643 171	395 170	518 454
TOTAUX GÉNÉRAUX	39 244 005	43 857 683	1 911 352	6 525 030	32 659 697	37 005 825	612 413	4 958 541
DIMINUTION pour les 9 premiers mois de 1930			4 613 678				4 346 128	

(A) Antérieurement au mois de janvier 1930, la Chine était confondue dans la *Statistique mensuelle* avec les autres pays étrangers.
(B) Antérieurement au mois de février 1930, la Syrie était confondue dans la *Statistique mensuelle* avec les autres pays étrangers.

1930 et 1929 indique que le poids de nos importations a augmenté de 1,6 million de tonnes, alors que celui de nos exportations a diminué de près de 2 millions de tonnes. La comparaison des nombres de 1930 avec ceux de 1913 montre que nos importations ont augmenté de plus de 42 pour 100 et nos exportations de près de 79 pour 100.

Il résulte de l'examen des troisième et septième colonnes de chiffres du tableau A que le poids des importations a augmenté pour les matières premières et les objets fabriqués et diminué pour les objets d'alimentation, tandis que pour les exportations c'est l'inverse. On remarque que c'est surtout pour les matières nécessaires à l'industrie que l'augmentation des importations et la diminution des exportations sont importantes : 2 246 382 tonnes pour l'augmentation, 2 millions 289 192 tonnes pour la diminution.

Enfin, en examinant les colonnes 1 et 5 du tableau, on voit que nous importons les objets d'alimentation et les matières nécessaires à l'industrie en quantités plus grandes que nous n'en exportons et que c'est l'inverse pour les objets fabriqués.

II. Importations et exportations de matériel électrique.

Les quantités et les valeurs des importations et exportations de matériel électrique pour les neuf premiers mois des années 1930, 1929 et 1928 sont données dans le tableau II.

Des nombres inscrits dans ce tableau, nous avons déduit ceux du tableau B qui font ressortir, d'une part, les différences entre nos importations et nos exportations de 1930, d'autre part, les augmentations ou diminutions, tant pour les valeurs que pour les poids, des importations et des exportations de 1930 sur celles de 1929. Nous avons conservé dans ces tableaux les divisions que nous avions adoptées dans

TABLEAU B. — *Indices du mouvement d'échanges internationaux des principaux articles de matériel électrique pour les neuf premiers mois des années 1930 et 1929.*

DÉSIGNATION	SUPÉRIORITÉ EN 1930 DES IMPORTATIONS SUR LES EXPORTATIONS		AUGMENTATION DES IMPORTATIONS DE 1930 SUR 1929		DIMINUTION DES IMPORTATIONS DE 1930 SUR 1929		SUPÉRIORITÉ EN 1930 DES EXPORTATIONS SUR LES IMPORTATIONS		AUGMENTATION DES EXPORTATIONS DE 1930 SUR 1929		DIMINUTION DES EXPORTATIONS DE 1930 SUR 1929	
	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur
	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs
I. Machines dynamo-électriques	43 466	101 316	50 091	83 694							5 374	819
II. Appareils électro-techniques.	4 602	93 034	18 425	34 992					13 373	35 593		
III. Bâtis et carcasses.....	3 918	1 641	3 972	1 774							392	282
IV. Lampes à incandescence.....	375	54 857	153	7 966					1 279	4 901		
V. Lampes à arc			5	124			265	766			109	61
VI. Charbons pour usages électriques.					2 203	1 600	15 528	12 447	10 498	7 595		
VII. Fils et câbles					27 316	24 799	16 513	20 098	12 282	14 179		
VIII. Pièces détachées.....			6 343	16 591			8 793	1 256	2 187	8 629		
IX. Aimants ...	324	1 371	193	404					5	34		
X. Accumulateurs			2 538	1 482			12 016	18 976	2 058	3 001		
XI. Piles		332	1 049	2 491			2 161				1 169	881
XII. Pièces en porcelaine, en verre, etc.					423	1 730	26 448	12 008		3 116	1 852	
	52 685	252 551	82 769	149 518	29 942	28 129	81 724	65 551	41 682	77 048	8 896	2 043

les articles concernant les années antérieures avec toutefois quelques légères modifications dont nous avons indiqué les raisons dans l'article consacré aux importations et exportations pendant le premier trimestre de 1929 (1). Comme dans ce dernier article nous avons complété le tableau II par trois autres, les tableaux II

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 29 juin 1929, t. XXV, p. 1 024.

Tableau II. — Matériel électrique.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES NEUF PREMIERS MOIS DES ANNÉES 1930, 1929 ET 1928

	NUMÉROS DU TARIF	DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1930	1929	1928	1930	1929	1928
IMPORTATIONS		I. Machines dynamoélectriques :						
	524 A	Machines dynamoélectriques et transformateurs industriels à sec ou immergés.	86 602	36 030	19 615	159 317	74 622	44 508
	524 B	Machines dynamoélectriques pour l'équipement des véhicules automobiles de toutes sortes (voitures, bateaux, aérostats, appareils d'aviation, etc.,) combinées avec des appareils d'allumage pour moteurs à explosion (magnétos ou autres).....	292	773	1 359	1 626	2 627	4 324
	524²	II. Appareils électriques et électrotechniques (voir tableau II bis).....	59 333	40 908	23 823	231 943	196 951	108 438
	533⁸	III. Bâtis et carcasses de dynamos et de moteurs électriques, croisillons d'induits, fourreaux de collecteurs, pôles pleins de dynamos et alternateurs.....	4 050	78	11	1 837	63	42
	361	IV. Lampes à incandescence, lampes-valves, etc (voir tableau II ter).....	6 445	6 292	4 993	80 415	72 449	58 308
	536²	V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier....	23	18	22	226	102	145
	302	VI. Charbons pour usages électriques :						
		Pour lumière électrique à arc, pour fours électriques et électrolyse, carbone amorphe ou graphite.....	10 447	12 639	9 140(1)	6 780	8 592	8 613(1)
		Balais pour machines électriques, charbons pour balais.....	240	251		3 256	3 044	
	535³	VII. Fils et câbles pour l'électricité :						
		Enduits ou isolés de caoutchouc, gutta percha, balata ou de toute autre matière, avec âme en métal commun...	29 002	59 543	13 479	28 367	55 738	11 808
		Non isolés par l'application de caoutchouc ou de toute autre matière analogue, gaines, avec enveloppe de plomb ou recouverts d'émail.....	4 256	1 180	21 524	6 018	4 400	22 097
		Cordons souples pour connexions, recouverts extérieurement de textiles.....	316	167	63	1 974	1 020	496
	536	VIII. Pièces détachées se rapportant à l'électricité (voir tableau II quater).....	11 072	4 729	5 585	37 196	20 605	16 184
	536³	IX. Aimants (à l'exclusion des électroaimants).	415	222	151	1 568	1 164	576
	576³	X. Accumulateurs électriques et pièces détachées.....	11 045	8 507	4 258	7 459	5 977	3 421
		XI. Piles et condensateurs :						
	576⁴	Piles sèches.....	403	233	200	606	324	258
		Piles à liquides (y compris les coffres et batteries).....	6	5	9	5	4	29
		Parties et pièces détachées	175	68	7	266	123	8
	576⁵	Condensateurs et pièces détachées.....	1 197	426	138	3 556	1 491	811
	347²	XII. Pièces pour l'électricité, en faïence, porcelaine, grès blanc ou de couleur, poterie, verre, cristal, etc. :						
		Sans parties de métal ou d'autres matières	2 651	2 763	1 486	2 407	2 589	1 370
		Avec parties ou garnitures de métal...	3 274	3 585	453	3 276	4 824	717
			231 244	178 417	106 316	578 098	456 709	282 153

(1) Ces nombres comprennent non seulement ceux relatifs aux charbons pour usages électriques, mais aussi ceux qui concernent les charbons pour tous autres usages industriels.

bis, II ter et II quater, qui donnent le détail des importations et des exportations correspondant à trois des divisions du tableau II.

VALEURS DES IMPORTATIONS ET DES EXPORTATIONS. — Il résulte du tableau II que la valeur du matériel importé dépasse 578 millions de francs. Dans cette somme,

Tableau II *(suite)* — Matériel électrique.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES NEUF PREMIERS MOIS DES ANNÉES 1930, 1929, 1928.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1930	1929	1928	1930	1929	1928
	EXPORTATIONS	I. Machines dynamoélectriques :						
524 A		Machines dynamoélectriques et transformateurs industriels à sec ou immergés.	41 248	47 086	61 461	55 098	57 365	73 962
524 B		Machines dynamoélectriques pour l'équipement des véhicules automobiles de toutes sortes (voitures, bateaux, aérostats, appareils d'aviation, etc.,) combinées avec des appareils d'allumage pour moteurs à explosion (magnétos ou autres).	2 180	1 716	2 925	4 529	3 081	5 896
524[2]		II. Appareils électriques et électrotechniques (voir tableau II bis)	54 731	41 358	42 492	138 909	103 316	102 362
533[8]		III. Bâtis et carcasses de dynamos et de moteurs électriques, croisillons d'induits, fourreaux de collecteurs, pôles pleins de dynamos et alternateurs	132	524	508	196	478	536
361		IV. Lampes à incandescence, lampes-valves, etc (voir tableau II ter)	6 070	4 791	4 660	25 558	20 657	17 003
536[2]		V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier	288	397	140	992	1 053	425
302		VI. Charbons pour usages électriques :						
		Pour lumière électrique à arc, pour fours électriques et électrolyse, carbone amorphe ou graphite	20 815	12 178	25 602(1)	8 494	5 676	20 747(1)
		Balais pour machines électriques, charbons pour balais	5 400	3 539		13 989	9 212	
535[3]		VII. Fils et câbles pour l'électricité :						
		Enduits ou isolés de caoutchouc, gutta percha, balata ou de toute autre matière, avec âme en métal commun	39 693	31 979	29 625	46 237	36 266	27 500
		Non isolés par l'application de caoutchouc ou de toute autre matière analogue, gaines, avec enveloppe de plomb ou recouverts d'émail	10 254	5 780	3 542	9 920	5 906	3 398
		Cordons souples pour connexions, recouverts extérieurement de textiles	140	46	7	300	106	12
536		VIII. Pièces détachées se rapportant à l'électricité (voir tableau II quater)	19 865	17 678	12 411	38 452	29 823	22 313
536[3]		IX. Aimants (à l'exclusion des électro-aimants)	91	86	37	197	163	65
576[3]		X. Accumulateurs électriques et pièces détachées	23 061	21 003	13 692	26 435	23 434	13 322
		XI. Piles et condensateurs						
576[4]		Piles sèches	3 105	3 953	4 773	2 725	3 910	4 382
		Piles à liquides (y compris les coffres et batteries)	143	141	95	87	121	87
		Parties et pièces détachées	526	972	187	504	711	198
576[5]		Condensateurs et pièces détachées	168	45	154	785	240	345
347[2]		XII. Pièces pour l'électricité, en faïence, porcelaine, grès blanc ou de couleur, poterie, verre, cristal, etc. :						
		Sans parties de métal ou d'autres matières	27 280	30 211	21 640	13 479	11 740	8 272
		Avec parties ou garnitures de métal	5 093	4 014	3 138	4 212	2 835	2 189
			260 283	227 497	227 089	391 098	316 093	303 014

(1) Ces nombres comprennent non seulement ceux relatifs aux charbons pour usages électriques, mais aussi ceux qui concernent les charbons pour tous autres usages industriels.

le matériel compris sous la rubrique « Appareils électriques et électrotechniques » entre pour près de 232 millions, les machines dynamoélectriques pour 161 millions, les lampes à incandescence pour plus de 80 millions, les fils et câbles pour 36,3 millions, les pièces détachées pour 37,2 millions de francs.

Tableau II bis. — Appareils électriques et électrotechniques.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1930	1929	1928	1930	1929	1928
524 bis A	IMPORTATIONS	Appareils d'allumage des moteurs à explosion de toute espèce :						
		Magnétos donnant 2 étincelles par tour et autres appareils d'allumage destinés à des moteurs de 6 cylindres et moins	1 672	3 013	550	9 986	16 799	3 880
		Magnétos donnant 4 étincelles par tour et autres appareils d'allumage destinés à des moteurs de plus de 6 cylindres	99	228	129	1 138	1 868	1 135
		Magnétos à allumage jumelé et magnétos à double allumage	21	1	3	130	4	32
524 bis B		Appareils pour la coupure, le réglage, la protection, la distribution du courant électrique :						
		Appareils non automatiques	13 693	6 365	3 508	40 517	20 817	11 552
		Appareils automatiques importés à l'état complet	7 563	4 252	2 921	30 599	18 510	11 598
		Dispositifs automatiques importés séparément	59	73		712	428	
		Appareils de régularisation automatique de courant	323	190		3 147	1 942	
		Valves, tubes ou lampes à vapeur ou effluves pour les appareils ci-dessus :			180			1 163
		Avec récipients en verre ou transparents	5	5		801	275	
		Avec récipients métalliques	51	4		221	4	
524 bis C		Appareils de soudure électrique à l'exclusion des fers à souder électriques	734	547	396	1 935	1 437	1 187
524 bis D		Ventilateurs électriques à l'exclusion des ventilateurs d'habitation	1 366	673	540	2 998	1 693	1 273
524 bis E		Appareils pour la téléphonie, appareils pour la télégraphie autres que ceux repris ci-après	2 234	8 539	4 181	19 211	50 950	16 224
524 bis F		Appareil de télégraphie automatique ou rapide :						
		Montés sur table	10	13	11	256	288	176
		Sans table ni pied	16	6	1	628	288	104
524 bis G		Appareils de télégraphie et de téléphonie sans fil à l'exclusion des lampes importées isolément	19 441	7 963	3 512	60 919	33 749	14 767
524 bis H		Appareils pour la signalisation et le contrôle électrique à distance, appareils pour la signalisation et la correspondance dans les chemins de fer avec ou sans boîte métallique	266	219	478	1 802	1 265	1 663
524 bis I		Appareils de mesure électrique, à l'exclusion des compteurs	888	625	446	9 811	6 755	4 172
524 bis I		Transformateurs afférents aux appareils ci-dessus	633	107	573	1 351	371	320
524 bis J		Appareils d'électricité médicale	1 095	865	583	5 323	4 715	2 649
524 bis K		Matériel de chauffage électrique	2 414	1 636	911	5 684	4 844	2 859
524 bis K		Objets composés de tissus, de pelleteries ou de matières analogues, équipés pour être chauffés électriquement	42	11	5	159	69	28
524 bis K		Tissus électriques ou chauffant à l'électricité	11	14	15	82	94	31
524 bis L		Fers à repasser électriques	184	144	43	173	199	65
524 bis M		Appareils électriques et électrotechniques à usage domestique et petit outillage électromécanique :						
		Aspirateurs de poussière, machines à cirer ou à encaustiquer, machines à cirer les chaussures	1 069	955		6 891	5 361	
		Machines frigorifiques domestiques, machines à récurer, machines à pétrir (pétrins à pâte, etc.)	643	457	1 970	1 770	1 574	14 117
		Perceuses, polisseuses, petites pompes, etc., machines à bois et appareils similaires	511	418		6 811	5 816	
524 bis N		Ventilateurs d'habitation	1 325	809		3 522	2 418	
		Appareils électriques et électrotechniques non mentionnés dans les paragraphes précédents :						
		Contenant des enroulements de fils métalliques isolés	2 228	2 285	1 757	12 052	11 646	7 810
		Ne contenant pas d'enroulements de fils métalliques isolés	737	491	1 120	3 314	2 772	11 633
			59 333	40 908	23 823	231 943	196 951	108 438

Tableau II bis *(suite)*. — Appareils électriques et électrotechniques.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1930	1929	1928	1930	1929	1928
524 bis A	EXPORTATIONS	Appareils d'allumage des moteurs à explosion de toute espèce	261	208	320	888	734	1 025
524 bis B		Appareils pour la coupure, le réglage, la protection, la distribution du courant électrique	10 945	4 437	5 095	15 640	6 179	6 973
524 bis C		Appareils de soudure électrique à l'exclusion des fers à souder électriques	417	176	136	858	239	207
524 bis D		Ventilateurs électriques à l'exclusion des ventilateurs d'habitation	1 270	870	3 541	1 710	1 179	4 766
524 bis E		Appareils pour la téléphonie, appareils pour la télégraphie autres que ceux repris ci-après	1 355	1 450	1 592	6 159	6 255	5 314
524 bis F		Appareils de télégraphie automatique ou rapide	176	170	225	2 026	1 282	1 092
524 bis G		Appareils de télégraphie et de téléphonie sans fil à l'exclusion des lampes exportées isolément	6 428	5 660	4 836	33 341	28 280	23 398
524 bis H		Appareils pour la signalisation et le contrôle électrique à distance, appareils pour la signalisation et la correspondance dans les chemins de fer avec ou sans boîte métallique	391	102	54	1 638	376	143
524 bis I		Appareils de mesure électrique, à l'exclusion des compteurs et transformateurs afférents à ces appareils	458	367	258	3 087	2 515	1 803
524 bis J		Appareils d'électricité médicale	1 548	1 490	1 435	5 958	4 705	4 937
524 bis K		Matériel de chauffage électrique	1 693	1 761	1 064	3 587	2 873	1 470
524 bis K		Objets composés de tissus, de pelleteries ou de matières analogues, équipés pour être chauffés électriquement	1	2		2	6	
524 bis K		Tissus électriques ou chauffant à l'électricité	4	1	5	30	2	9
524 bis L		Fers à repasser électriques	201	294	195	239	408	280
524 bis M		Appareils électriques et électrotechniques à l'usage domestique et petit outillage électromécanique	5 217	3 964	2 263	11 341	7 604	4 883
524 bis N		Appareils électriques et électrotechniques non mentionnés dans les paragraphes précédents	24 366	20 406	21 473	52 405	40 679	46 062
			54 731	41 358	42 492	138 909	103 316	102 362

La seconde partie du même tableau montre que la valeur de nos exportations n'a été que de 391 millions de francs. Le matériel classé dans la rubrique : « Appareils électriques et électrotechniques » figure dans la valeur totale des exportations pour 139 millions de francs, les machines dynamoélectriques pour près de 60 millions, les fils et câbles pour 56,4 millions, les pièces détachées pour 38,4 millions, les lampes à incandescence pour 25,5 millions, les accumulateurs pour 26,4, les pièces en porcelaine ou en verre pour près de 18 millions, les piles et condensateurs pour plus de 4 millions de francs.

VARIATIONS DES VALEURS DES IMPORTATIONS ET DES EXPORTATIONS D'UNE ANNÉE A L'AUTRE. — Le tableau II nous montre que la valeur de nos importations est passée de 456,7 millions de francs en 1929 à 578 millions en 1930, augmentant de 121,3 millions, soit d'environ 26,5 pour 100 ; pour les neuf premiers mois de 1929 l'augmentation avait atteint 61 pour 100 et pour l'année entière 1929 elle avait été de 50 pour 100. La quatrième colonne de chiffres du tableau B indique que dans cette augmentation, les machines dynamoélectriques entrent pour 83,7 millions de francs, les appareils électriques et électrotechniques pour près de 35 millions, les pièces détachées pour 16,5 millions, les lampes électriques pour près de 8 millions de francs. En se reportant au tableau II bis on voit que l'augmentation de 35 millions de francs des importations des appareils électriques et électrotechniques est due aux augmentations des importations des appareils de distribution d'énergie (environ 40 millions) et des appareils de télégraphie et téléphonie sans fil (plus de 27 millions), compensées en partie par la diminution des importations d'appareils téléphoniques et télégraphiques (plus de 31 millions de francs).

Pour les exportations, nous constatons que leur valeur est passée de 316 millions de francs en 1929 à 391 millions en 1930 ; il y a donc eu augmentation de 75 millions, soit de 24 pour 100. Si l'on se reporte aux dixième et douzième colonnes du tableau B, on voit que l'augmentation a été importante pour les rubriques suivantes : appareils électrotechniques, (35,6 millions), fils et câbles (14,2), pièces détachées

(8,6), charbons pour usages électriques (7,6), lampes à incandescence (4,9). On remarquera que l'augmentation de la valeur des exportations d'appareils électrotechniques est sensiblement égale à celle des importations de ces mêmes appareils ; d'après le tableau II bis, cette augmentation des exportations porte sur presque toutes les rubriques de ce tableau, mais principalement sur les exportations d'appareils pour distribution de l'énergie (15 millions de francs en 1930 contre 6 en 1929) et d'appareils de télégraphie et de téléphonie sans fil (33 millions en 1930 contre 28 en 1929).

Valeur du commerce extérieur et balance commerciale. — La valeur de l'ensemble de nos importations et de nos

Tableau II ter. — Lampes électriques.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES 1930	1929	1928	VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS 1930	1929	1928
361	IMPORTATIONS	Lampes électriques à incandescence :						
		Ampoules en verre, ouvertes et sans garniture....	938	999		1 606	1 666	
		Lampes à filaments dans le vide :						
		à filaments de carbone	23	48		208	636	
		à filaments métalliques pesant par unité : moins de 5 g	196	124		4 385	2 805	
		à filaments métalliques pesant par unité : de 5 à 15 g	113	130		2 578	2 314	
		à filaments métalliques pesant par unité : 15 g et plus, munies de leur monture.	747	1 427		9 229	14 016	
		à filaments métalliques pesant par unité : 15 g et plus, non munies de leur monture	2	39	4 168	65	493	40 713
		à filaments métalliques dans des atmosphères de gaz ou de vapeur : munies de leur monture.....	2 009	2 043		22 784	21 909	
		à filaments métalliques dans des atmosphères de gaz ou de vapeur : non munies de leur monture.	12	4		117	79	
361 bis		Autres appareils électriques (lampes-valves) :						
		à filaments incandescents, valves (lampes) de T.S.F.....	2 195	1 294	750	35 913	24 150	16 043
		à vapeur ou effluves incandescents ou fluorescents : à récipient en verre ou transparent.....	201	184	36	3 259	4 374	1 081
		à vapeur ou effluves incandescents ou fluorescents : à récipient métallique.....	9		39	271	7	471
			6 445	6 292	4 993	80 415	72 449	58 308
361	EXPORTATIONS	Lampes électriques à incandescence :						
		Ampoules en verre, ouvertes et sans garniture....	507	107		740	418	
		Lampes à filaments dans le vide, à filaments de carbone.....	251	206		862	779	
		Lampes à filaments dans le vide, à filaments métalliques....	4 546	3 886	4 660	16 001	14 835	17 003
		Lampes à filaments métalliques dans des atmosphères de gaz ou de vapeur	93	102		473	562	
361 bis		Autres appareils électriques (lampes, valves) :						
		à filaments incandescents, valves (lampes) de T.S.F.	657	480		7 372	3 989	
		à vapeur ou effluves incandescents ou fluorescents.	16	10		110	74	
			6 070	4 791	4 660	25 558	20 657	17 003

exportations de matériel électrique pendant les neuf premiers mois de l'année 1930 dépasse 969 millions de francs.

La balance commerciale accuse un déficit de plus de 187 millions de francs, alors qu'elle ne présentait qu'un déficit de 140 millions pour la même période de 1929, et qu'elle se soldait par un bénéfice d'environ 21 millions pour les neuf premiers mois de 1928 et de 118 millions pour ceux de 1927.

Poids des importations et des exportations. — La première colonne de chiffres du tableau II montre que le poids total des importations s'est élevé à 231 244 quintaux.

Dans cet ensemble, les machines dynamoélectriques entrent pour 86 894 quintaux, les appareils électriques et électrotechniques pour 59 333 quintaux, les fils et câbles pour 33 574 quintaux.

Le poids des exportations est de 260 283 quintaux. Si l'on classe les rubriques d'après les poids qui leur correspondent, les appareils électriques et électrotechniques se placent au premier rang avec 54 731 quintaux et les fils et câbles au deuxième, avec 50 087 quin-

taux; viennent ensuite : les machines dynamoélectriques, avec 43428 quintaux; les pièces en porcelaine ou en verre, avec 32373 quintaux; les charbons, avec 26215 quintaux ; les accumulateurs, avec 23061 quintaux et les pièces détachées, avec 19865 quintaux.

Il résulte du tableau B que, en poids, nos exportations sont supérieures à nos importations pour sept des douze rubriques ; il n'y a infériorité marquée que pour les machines dynamoélectriques, infériorité qui est de 43466 quintaux.

VARIATIONS DES POIDS DES IMPORTATIONS ET DES EXPORTATIONS D'UNE ANNÉE A L'AUTRE. — Si l'on se reporte à la troisième colonne de chiffres du tableau B, on voit que les poids

Tableau II quater. — Pièces détachées se rapportant à l'électricité.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1930	1929	1928	1930	1929	1928
536	IMPORTATIONS	Pièces d'appareils d'allumage pour moteurs à explosion de toute espèce (magnétos et autres) :						
		Rupteurs et parties de rupteurs	4	5	1	272	296	42
		Porte-charbons et parties de ces objets	4	37	185	62	183	479
		Distributeurs, bagues collectrices et partie de ces objets	66	240		675	1 291	
		Noyaux bobinés, et leurs pièces ou parties	36	144	102	235	779	441
		Condensateurs, armatures complètes et leurs pièces ou parties	51	19		468	332	
		Organes d'accouplement pour magnétos et autres appareils d'allumage	10	238	80	99	575	220
		Autres pièces	75	177	273	361	534	629
		Pièces détachées et assemblées pour appareils, standards et postes téléphoniques	472	231	204	3 226	1 810	1 640
		Electroaimants pesant 10 kg et moins par unité	17	19	14	113	107	139
		Pièces détachées (travaillées, pour machines électriques, transformateurs, appareillages) de plus de 200 kg.	2 166	742	4 726	4 539	2 005	12 594
		Pièces détachées (travaillées, pour machines électriques, transformateurs, appareillages) 200 kg et moins	8 171	2 877		27 146	12 693	
			11 072	4 729	5 585	37 196	20 605	16 184
536	EXPORTATIONS	Pièces d'appareils d'allumage et de dynamos pour l'équipement des véhicules automobiles	137	448	539	370	1 140	903
		Pièces détachées et assemblées pour appareils, standards et postes téléphoniques	442	274	254	1 900	1 074	499
		Electroaimants pesant 10 kg et moins par unité	2	94	13	12	143	20
		Pièces détachées (travaillées) pour machines électriques, transformateurs, appareillages, telles que : inducteurs, induits, bobinages, parties de rhéostats, de démarreurs, etc	19 284	16 862	11 605	36 170	27 466	20 891
			19 865	17 678	12 411	38 452	29 823	22 313

des importations de 1930 ont surpassé ceux de 1929 pour toutes les rubriques sauf pour les charbons et les fils et câbles. La neuvième colonne montre que les poids de nos exportations se sont aussi accrus pour sept des rubriques et la onzième, qu'ils n'ont diminué sensiblement que pour les machines dynamoélectriques (5374), les pièces en porcelaine et en verre (1852) et les piles (1169 quintaux).

III. Importations et exportations des produits électrométallurgiques et électrochimiques.

Les poids et les valeurs des produits importés et des produits exportés pendant les neuf premiers mois de l'année 1929 et des deux années précédentes sont donnés dans le tableau III; le tableau C indique, tant pour les valeurs que pour les quantités, d'une part, les différences que présentent nos exportations et nos importations de 1930, d'autre part, les augmentations ou diminutions des poids et valeurs des produits importés ou exportés en 1930 sur celles des produits importés ou exportés en 1929.

VALEURS DES IMPORTATIONS ET DES EXPORTATIONS. — D'après le tableau III, la valeur des importations est de 61,8 millions de francs; le nitrate de calcium entre dans

le total pour 24,7 millions de francs, la cyanamide calcique pour 16,1 millions et les ferro-alliages pour 13,3 millions de francs.

Pour les exportations, la valeur de l'ensemble des produits atteint 96,3 millions de francs, supérieure à celle des importations de 34,5 millions, soit de près de 56 pour 100. Parmi les produits exportés, l'aluminium se trouve en tête pour une valeur de 49,8 millions de francs; vient ensuite le carbure de calcium pour 23 millions, puis les ferro-alliages pour 19,6 millions de francs.

Tableau III. — Produits électrométallurgiques et électrochimiques.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES NEUF PREMIERS MOIS DES ANNÉES 1930, 1929 ET 1928.

NUMÉRO DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1930	1929	1928	1930	1929	1928
203	IMPORTATIONS	I. Aluminium :						
		en lingots ou déchets	2 660	1 973	1 380	2 697	1 958	1 254
		laminé, forgé ou fondu	1 419	898	402	2 909	1 877	1 110
		battu en feuilles	56	51	41	581	249	255
		en poudre, en paillettes impalpables	595	410	350	1 169	882	714
		en fils	13	7	1	19	13	2
205 bis		II. Ferro-alliages :						
		ferro-manganèse	16 628	90 139	120 758	2 316	14 760	19 827
		ferro-aluminium et ferro-silico-aluminium	1 116	1 857	412	502	661	171
		ferro-silicium	19 003	17 661	4 899	3 606	3 968	1 100
		silico-spiegel riche et mangano-silicium	1 263	5 550		168	769	
		ferro-chrome	11 048	11 880		4 577	4 552	
		ferro-titane, ferro-silico-titane, ferro-tungstène et ferro-silico-tungstène	217	964	14 140	138	1 234	9 084
		ferro-bore, ferro-molybdène, ferro-tantale, ferro-uranium, etc	28	576		380	2 976	
		éléments rares pour ferro ou cupro-alliages	41	90		1 679	1 884	
0 33		III. Carbure de calcium	968	936	4 511	141	99	380
0 380		IV. Nitrate de calcium	256 718	129 904	147 943	24 752	15 562	18 850
0 380		V. Cyanamide calcique	174 041	100 315	77 872	16 148	9 102	7 784
			485 814	363 211	372 709	61 782	60 546	60 531
		Exportation des produits fabriqués en France ou francisés après transformation						
203	EXPORTATIONS	I. Aluminium :						
		en lingots ou déchets	23 229	15 428	29 695	25 336	17 796	34 579
		laminé, forgé ou fondu	16 517	12 648	14 560	21 381	17 984	23 044
		battu en feuilles	1 473	1 858	2 942	2 244	2 957	5 136
		en poudre, en paillettes impalpables	492	275	472	629	431	595
		en fils	256	430	319	294	620	550
205 bis		II. Ferro-alliages :						
		ferro-manganèse	22 806	10 459	8 844	3 863	3 001	2 478
		ferro-aluminium et ferro-silico-aluminium	270	1 378		226	362	
		ferro-silicium	39 448	41 903	52 043	5 454	6 851	8 294
		silico-spiegel riche et mangano-silicium	473	2 430		100	421	
		ferro-chrome	1 308	2 106		879	828	
		ferro-titane, ferro-silico-titane, ferro-tungstène et ferro-silico-tungstène	1 573	4 204	10 030	4 951	6 401	7 806
		ferro-bore, ferro-molybdène, ferro-tantale, ferro-uranium, etc	824	85		3 686	270	
		éléments rares pour ferro ou cupro-alliages	33			511	1	
0 33		III. Carbure de calcium	170 349	176 853	164 837	23 019	23 363	22 021
0 380		IV. Nitrate de calcium	22 414	14 756	8 776	2 595	1 667	1 177
0 380		V. Cyanamide calcique	10 901	22 267	21 346	1 142	2 134	2 016
			312 366	307 080	313 864	96 310	85 087	107 696

VARIATIONS DES VALEURS DES IMPORTATIONS ET DES EXPORTATIONS D'UNE ANNÉE A L'AUTRE. — Le tableau III montre que la valeur de nos importations de 1930 est supé-

rieure de 1,2 million de francs seulement à celle des importations de 1929.

La valeur des exportations présente par contre une augmentation importante : plus de 11 millions de francs. D'après la dixième colonne du tableau C cette augmentation est attribuable à l'augmentation de nos exportations d'aluminium, laquelle a atteint près de 10 millions de francs.

Valeur du commerce extérieur et balance commerciale. — La valeur de l'ensemble de nos importations et de nos exportations dépasse 158 millions de francs, alors qu'elle était de 145,5 millions pour la période correspondante de 1929 et de 163 millions pour celle de 1928. La balance commerciale accuse un solde bénéficiaire de 34,5 millions de francs, supérieur d'une dizaine de millions à celui de la période correspondante de 1929 (24,4 millions), mais inférieur à celui de la même période de 1928 (47 millions).

Poids des importations et des exportations. — La première colonne du tableau III indique que le poids total des produits importés s'est élevé à 485 814 quintaux, dont 256 718 quintaux pour les importations de nitrate de calcium (253 543 venant de la Norvège, 2 245 de l'Allemagne), et 174 041 quintaux pour celles de cyanamide calcique (57 529 venant de Suisse, 116 512 des autres pays).

Tableau C. — *Indices du mouvement d'échanges internationaux des principales matières premières électrométallurgiques et électrochimiques pour les neuf premiers mois des années 1930 et 1929.*

DÉSIGNATION	SUPÉRIORITÉ EN 1930 DE L'IMPORTATION SUR L'EXPORTATION		AUGMENTATION DES IMPORTATIONS DE 1930 SUR 1929		DIMINUTION DES IMPORTATIONS DE 1930 SUR 1929		SUPÉRIORITÉ EN 1930 DE L'EXPORTATION SUR L'IMPORTATION		AUGMENTATION DES EXPORTATIONS DE 1930 SUR 1929		DIMINUTION DES EXPORTATIONS DE 1930 SUR 1929	
	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur
	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs
I. Aluminium :												
a) en lingots...			687	739			20 569	22 639	7 801	7 540		
b) demi-ouvré..			717	1 657			16 655	19 870	3 527	2 556		
II. Ferro-alliages :												
a) Ferro-manganèse.....					73 511	12 444	6 178	1 547	12 347	862		
b) Ferro-silicium			1 342			362	20 445	1 848			2 455	1 397
c) Autres ferro-alliages....	9 272				7 204	4 632		2 909		2 070	5 722	
III. Carbure de calcium.....			32	42			169 381	22 878			6 504	344
IV. Nitrate de calcium.....	234 304	22 157	126 814	9 190					7 658	928		
V. Cyanamide calcique....	163 140	15 006	73 726	7 046							11 366	992
	406 676	37 163	203 318	18 674	80 715	17 438	233 228	71 691	31 333	13 956	26 047	2 733

Le poids des exportations est de 312 366 quintaux dont 170 349 quintaux pour les exportations de carbure de calcium, soit près de deux tiers du total, 66 735 pour celles de ferro-alliages et 42 967 pour celles d'aluminium. Ajoutons que nous avons exporté 214 371 tonnes de bauxite d'une valeur de 16 592 000 fr.

Il résulte des nombres des première et septième colonnes du tableau C que nous importons plus de nitrate de calcium et de cyanamide calcique que nous n'en exportons, tandis que nos exportations d'aluminium, de ferro-silicium et de carbure de calcium dépassent notablement nos importations.

Variation des poids des importations et des exportations d'une année a l'autre. — Le tableau III indique que le poids des importations a augmenté de 122 603 quintaux, soit de 34,5 pour 100, tandis que celui des exportations n'a augmenté que de 5 286 quintaux, soit de 1,7 pour 100.

J. Reyval.

Assemblées générales

Compagnie électrique de la Grosne.

Assemblée générale ordinaire du 12 avril 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société au capital de 15 millions de francs et dont le siège social est à Chalon-sur-Saône, 5, place du Châtelet, nous extrayons les renseignements suivants :

L'année écoulée a été marquée par une progression sensible dans les ventes d'énergie. Alors qu'en 1928 la société avait vendu 46 920 415 kw-h, elle en a vendu, en 1929, 58 817 302. Il n'y a pas une augmentation proportionnelle des prix de vente. C'est que les tarifs dégressifs sont la règle des marchés importants et que, eu égard aux conditions de construction des réseaux, les prix de vente aux

sociétés de distribution sont extrêmement modérés. L'entretien, qui dans un réseau ancien comme celui de la société, exige des dépenses importantes, aussi bien que les travaux neufs, ont été l'objet d'un effort qui se continuera au cours des prochains exercices. Le réseau à 45 000 v a été prolongé jusqu'à Ancy-le-Franc, afin de fournir au Syndicat de l'Avallonnais un deuxième point d'alimentation. Deux artères à 20 000 v ont été dirigées, d'une part sur Paray-le-Monial, d'autre part sur Bourbon-Lancy.

La société a renforcé ses postes de Lucy, d'Epinac et de Saulieu et commencé à Pouilly-sur-Saône la construction d'un poste important indispensable à l'exécution de ses conventions avec la Société L'Energie industrielle.

Afin d'éviter la dissémination des réseaux de distribution à basse tension, la société a entrepris de regrouper un certain nombre de réseaux voisins des siens. Au cours de l'exercice écoulé, elle a constitué la Société Grosne-Centre, qui comprend essentiellement : les secteurs de Cluny, Pierre-en-Bresse, Saint-Gengoux, Sennecey-le-Grand, Montchanin, Lacanche, Genouilly, la Dheune, Germolles Roussillon. Dans le même ordre d'idées, la société s'est rendue acquéreur du secteur Machaîn (28 communes).

Le compte profits et pertes fait ressortir, après prélèvements pour remboursement de bons et obligations, amortissements et divers, un solde bénéficiaire de 1 661 889,46 fr, soit, avec le report de l'année précédente (1), la somme de 1 669 139,27 fr.

La répartition est effectuée comme il suit : 5 pour 100 à la réserve légale, 83 094,47 fr ; 5 pour 100 à titre de premier dividende, 750 000 fr ; 5 pour 100 à titre de dividende supplémentaire, 750 000 fr ; tantièmes statutaires au conseil, 83 333,35 fr ; report à nouveau, 2 711,45 fr.

Le dividende brut est ainsi fixé à 10 fr par action.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Immeubles	3 612 728,54
Mobilier et matériel	19 626 161,45
Travaux neufs en cours. Dépenses au 31 décembre 1929	1 673 672,53
Débiteurs divers	4 918 435,86
Caisse, banques et portefeuille	5 323 359,90
Marchandises en magasin	754 244,85
Rachat des parts de fondateurs	606 463,40
	36 515 066,53

Passif.

	fr
Capital social	15 000 000 »
Réserve légale	467 490,68
Provision pour amortissement, travaux et éventualités diverses	3 299 865,08
Provision pour amortissement des lignes primaires et réseaux secondaires	372 000 »
Réserve pour amortissements et éventualités	3 331 831 »
476 obligations 4,5 pour 100 de 500 fr chacune	238 000 »
3 337 bons 6,50 pour 100 de 500 fr chacun	1 668 500 »
4 791 bons 7,5 pour 100 de 500 fr chacun	2 395 500 »
Fournisseurs et divers	7 466 277,10
Valeur de rachat des parts de fondateurs	606 463,40
Bénéfices reportés de 1928	7 249,81
Bénéfices de l'année 1929	1 661 889,46
	36 515 066,53

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 21 septembre 1929, t. XXVI, p. 461.

Société de Construction et de Location d'Appareils de Levage et de Matériel de Travaux publics.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 13 JUIN 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société au capital de 14 400 000 fr et dont le siège social est à Paris, 78, rue Vitruve, nous extrayons ce qui suit :

Malgré l'activité déployée par les usines et l'amélioration de l'outillage, l'augmentation continue des salaires a accru les prix de revient et les résultats, encore satisfaisants, sont cependant inférieurs à ceux de l'année précédente (1). Mais, d'autre part, le chiffre des commandes reçues au cours de l'exercice écoulé et également au cours des premiers mois de cette année n'a pas cessé de progresser. Pour pouvoir exécuter tous les travaux dans de bonnes conditions, la société a installé de nouvelles machines-outils et construit de nouveaux bureaux sur ses terrains de la rue Vitruve. Elle devra, au cours de la présente année, développer encore ses moyens de production, et, par suite, accroître aussi le nombre de ses ouvriers.

Le solde du compte de profits et pertes s'élevant à 3 millions 649 969,65 fr est réparti comme il suit : amortissements, 350 822,63 fr ; prévisions pour retouches sur travaux en cours, 606 026 fr ; réserve légale 5 pour 100, 134 956 000 fr ; 5 pour 100 aux actions A, 600 000 fr ; 5 pour 100 aux actions B, 30 000 fr ; 10 pour 100 au conseil, 193 416,49 fr.

Le reste, soit 1 740 748,48 fr, ajouté au report de 1928, soit 844 706,76 fr donne une somme de 2 585 455,24 fr qui est répartie comme il suit : dividende supplémentaire aux actions A 6 pour 100, 720 000 fr ; dividende supplémentaire aux actions B 6 pour 100, 36 000 fr ; fonds de prévoyance, 1 000 000 fr ; report à nouveau 829 455,24 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Immobilisations	2 938 770,39
Débiteurs	9 840 179,08
Actionnaires	1 800 000 »
Caisses et banques	5 698 790,50
Portefeuille	728 421,93
Effets à recevoir	993 832,30
Comptes d'ordre	231 820,69
Approvisionnements en magasin	6 713 213,42
Travaux en cours	23 215 853,77
	52 160 882,08

Passif.

	fr
Capital	14 400 000 »
Réserve légale	1 013 879,22
Réserve extraordinaire	907 063,20
Fonds de prévoyance	3 790 067,10
Salaires à payer	201 533,65
Coupons à payer	32 562,64
Créditeurs	7 495 971,97
Avances sur travaux en cours	15 789 627,09
Comptes d'ordre	4 035 500,80
Report à nouveau de 1928	844 706,76
Profits et pertes 1929	3 649 969,65
	52 160 882,08

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 21 septembre 1929, t. XXVI, p. 461.

FIN DU TOME XXVIII